制御基礎講座 3

プログラム学習による

電子制御

松下電器 製造・技術研修所編著

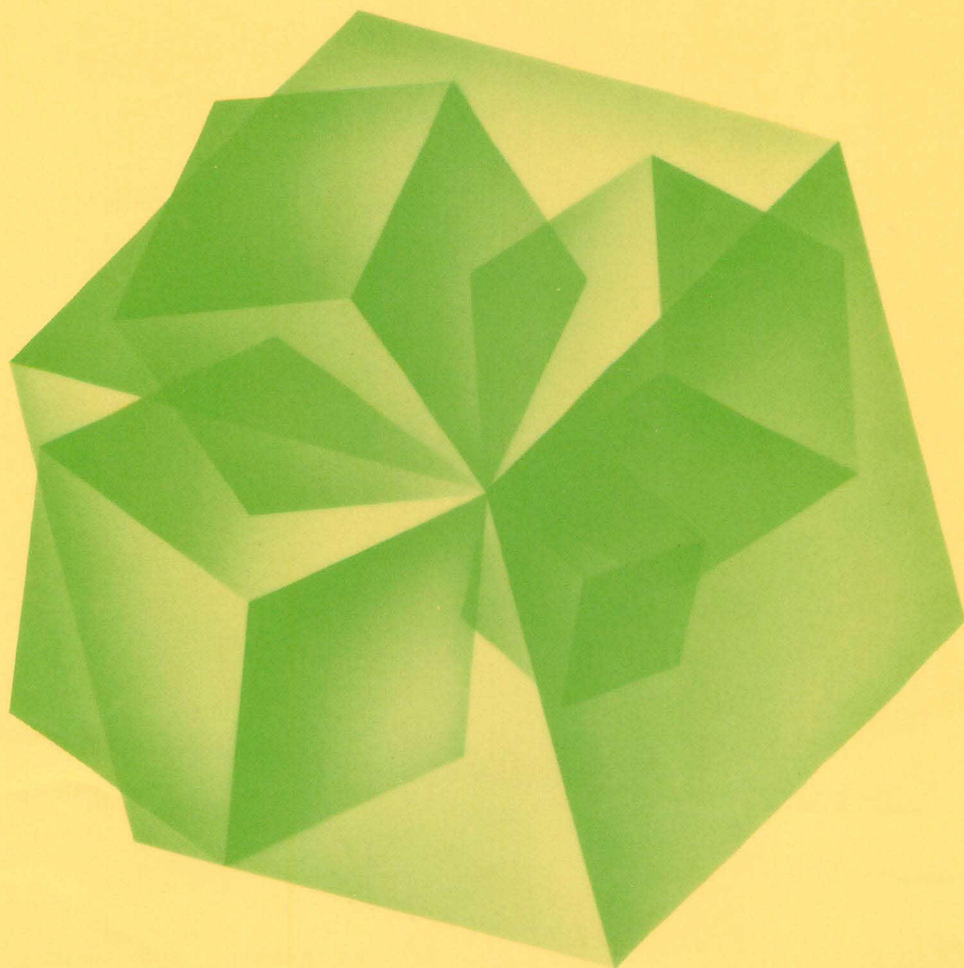


イラスト　三宅政光
カバー　松下隆一

制御基礎講座 3

プログラム学習による

電子制御

松下電器 製造・技術研修所 編著

松下電器産業株式会社 発行

科学情報社製作

制御基礎講座　3

プログラム学習による

電子制御

松下電器 製造・技術研修所／編著

発行／松下電器産業株式会社
製作／科　学　情　報　社

「家庭教師シミュレーション」を導入した新しいプログラム学習書

「猫に小判」あるいは「馬の耳に念仏」ということわざがある。これらは，どんなにありがたいものを与えてもそれに興味をというか，自分から聴こうとする意欲がなければ役には立たないということを，猫や馬にたとえてたくみに表現している。学習も正にそうであって，学習者がその学習に興味をもたなければ，いかに優れた内容のものでも「猫に小判」となってしまう。

つまり，学習意欲がなければ，すなわちやる気がなければ学習はもともと成り立たないわけである。

ところで，はじめから学習者が意欲をもっている場合にはよいが，学習を始めてから興味をもちだすという場合もある。学校教育の場合には，その成り立ちからみても後者の場合に相当する。そこで教師は，あらゆる「てれんてくだ」を凝らして学習者の意欲をかりたてようとするわけである。

さて，プログラム学習書はもともと自学自習をたてまえとしているので，意欲のないものには不向きとされていた。今回，われわれは従来のプログラム学習書に教育工学的な検討を加え，これを改革して，世界でもめずらしい新しい形式のプログラム学習書を編みだした。

それは名づけて

「家庭教師シミュレーション形式」

という。この形式は従来のプログラム学習書と全く同じであるが，異なるのはその解答欄である。

ここには，ふつうの解答のほかに，何人かの「家庭教師のことば」が記載されている。あるいは叱ったり，時にほめたり，場合によっては学習者の立場に立って共感をしたり，あたかも学習者のまわりを数人の先生や仲間がとりまいて授業をしているような錯覚を起こさせるほどである。

この形式は，教育工学的には学習者に対するフィードバックあるいはK. R. (Knowledge of Results)の手法である。

東京工業大学名誉教授
神奈川大学教授　末　武　国　弘

発行にあたって

この制御基礎講座は，以前に松下電器工学院から電気基礎講座として発行し，たいへん好評をいただいたプログラム学習書の続刊として発行いたしました。

当，製造・技術研修所は，当社々内の主として製造系・技術系社員の教育訓練を専門的に実施する企業内教育機関で，時代の要請に応じ，あるいは社内の要請に従って教育訓練の企画・実施を行っています。

しかし，当社では学習課題に対して，分散した事業場に多数の対象者を抱え，一挙に教育訓練を施すことができないため，各人が自学自習できるものについては学習用の教材を提供し，助成を行っています。

その一つとして生まれたのがプログラム学習書のシリーズです。

この教材は，当所において実施した講義の繰り返しをベースとし，その改善への取り組みを独自のプログラム学習書編集方式により集大成したもので，わかりやすい説明，展開をモットーに図や写真をふんだんに採用して編集しました。

制御技術は，今日の生産現場の自動化，省力化，あるいは製品機能の高度化が進む中で，その根本となるもので，これらに関連ある仕事に従事する人々にとって是非必要なものであり，社内での利用にとどめず，広く各位にご利用いただければと思い，出版いたしました。

いたらぬ点につきましては，ご指導，ご叱正たまわれば幸いです。

編著者代表

発行にあたって

この制御基礎講座は、以前に松下電器工学院から電気基礎講座として発行し、たいへん好評をいただいたプログラム学習書の続刊として発行いたしました。

今、製造・技術研修所は、当社の内の主として製造系・技術系社員の教育訓練を専門的に実施する企業内教育機関で、時代の要請に応じ、あるいは社内の要請に従って教育訓練の企画・実施を行っています。

しかし、当社では学習課題に対して、分散した事業場に多数の対象者を抱え、一斉に教育訓練を施すことができないため、各人が自学自習できるものについては学習用の教材を作成し、助成を行っています。

その一つとして生まれたのがプログラム学習書のシリーズです。

この教材は、当所において実施した講習の繰り返しをベースとし、その改善への取り組みを独自のプログラム学習編集方式に盛り込み集大成したもので、わかりやすい説明、簡潔をモットーに図や写真をふんだんに採用して編集しました。

制御技術は、今日の生産現場の自動化、省力化、あるいは製品機能の高度化が進む中で、その根幹となるもので、これらに関連ある仕事に従事するみなさんにとって是非必要なものであり、社内での利用にとどめず、広く各位にご利用いただければと思い、出版いたしました。

いたらぬ点につきましては、ご指導、ご叱正たまわれば幸いです。

編著者代表

この本の特色とねらい

1．この本は，それぞれの項目が次のように構成されています。
　① 学習の目標
　② 学習の概要
　③ 学習の展開
　④ 練習問題
2．**「学習の目標」**には，その項目で学習する学習目標が簡潔に記述してあります。
3．**「学習の概要」**には，その項目で学習する内容をまとめて，簡潔に記述してあります。学習の整理・まとめに使用することもできます。
4．**「学習の展開」**には学習内容がプログラム学習の教育技法によって展開されています。解答欄には，解答のほかにK.R.(Knowledge of Results)の手法を用いて学習意欲を高める教育工学的な「家庭教師のことば」が記載されています。
5．**「練習問題」**は，学習の展開で学習したことが十分に定着するよう幅広い内容とし，詳しい解答がついています。
6．学習の展開が丁寧すぎる学習者とか，学校で一通り勉強した人が，社会に出て再教育の機会を得，もう一度学習する場合には，学習の概要と練習問題で学習する方法もとれます。
7．集団一斉教育機関で教科書として使用する場合は，学習の概要に基づいて講義を進めることができます。
8．企業内教育訓練機関で，自己啓発，ＯＪＴ，通信教育などを行なう際，スクーリングや短期集合教育の時は，学習の概要に基づいて授業を行い，練習問題を用いて学習が成立したかどうかをチェックすることができます。

この本の使い方

1．はじめて制御を学習する人は,「学習の展開」から始めて下さい。

2．「学習の展開」は，プログラム学習の教育技法によって先生の講義と同じように展開されています。

別に添えてあるマスクで解答欄をかくし，答を見ないようにして，内容をよく読み，よく考えて＿＿＿＿＿の空白をうめるようにして下さい。

フレーム1 ──→	1　この本は学習の概要，＿＿＿＿の展開，練習問題という順に構成されています。	学習
フレーム2 ──→	2　学習の＿＿＿＿はその項目で学習する内容が簡潔に記述してあります。	概要
	3　学習の＿＿＿＿には，学習の概要がプログラム学習の教育技法によってわかりやすく展開されています。	展開
	4　練習問題は，学習の＿＿＿＿で学習したことが十分定着するように，幅広い内容とし，詳しい解答がついています。	展開

3．フレームの中をよく読んで，＿＿＿＿の空白に入れる答がわかったらそれをノートなどに記入します。

4．一つのフレームの中の解答がすんだら，そのつどマスクをずらして解答欄の答と見比べ，正誤を確認します。

5．答が正しければ，次のフレームに進みます。もしまちがっていたらもう一度よく読み直し，正しい解答がつくれるまで考えてみます。

速く進む必要はありません。一つ一つのフレームを十分理解しながら進むことが大切です。

6．最後に章末の「練習問題」を解答し，学習が成立したかどうかを確かめて下さい。

目　　次



学習者のみなさん！

あなたはいま，たいへん立派な何人もの家庭教師と仲間にとりまかれて，しかもなお，その先生方に気がねすることなく，マイペースで勉強ができるわけです。

疲れたらコーヒーを飲んでもよいし，音楽をきいてもよいのです。
(トイレに行くときだって“失礼！”と言わなくてもすむのです！)
ひとつ王子様になったつもりで勉強を進めてください。

1. 電子制御と検出器

学習の目標

1. 電子制御がどのようなところで活用されているかを知る。

2. 制御を行ううえでの検出器の必要性がわかり，どのような検出器が一般に用いられているかを知る。

3. つぎの検出器の基本動作，特徴，および用途を知り，第2章以後の学習に対しての予備知識を得る。

① サーミスタ　② 熱電対
③ CdS　④ ホトダイオード
⑤ ホトトランジスタ　⑥ ポテンショメータ
⑦ 差動変圧器



ヒラケゴマはもう古い……

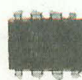
学習の概要

1．電子制御とは

(1)　半導体素子を利用した制御を総称して**電子制御**といっています（電子制御にはディジタルＩＣを利用したものもありますが，これについては「無接点シーケンス制御」を参照してください)。


トランジスタ


サイリスタ


オペアンプ

(2)　私たちの身近なところでも，家庭電化製品や設備の制御，省力化装置などで電子制御が利用されています。



電気コタツの温度制御


検査装置

2．検　出　器

検出器とは，温度や光の強さや物体の位置などを，それに対応した電気量に変換するものです。

電子制御で利用される検出器の代表的なものには，つぎのようなものがあります。

①　温度の検出……サーミスタ，熱電対

②　光の検出………CdS，ホトダイオード，ホトトランジスタ

③　位置の検出……ポテンショメータ，差動変圧器

3．サ ー ミ ス タ

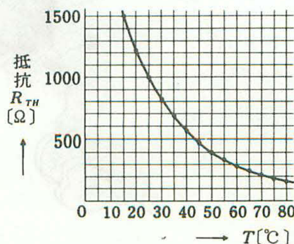
温度を抵抗値に変換する検出器です。

(1)　温度が上昇すると抵抗値は減少し，温度が低下すると抵抗値は増加します。

(2)　小形で価格も安いため，一般の温度検出器として広く用いられています。

(3)　一般にサーミスタには25〔℃〕のときの抵抗値が表示されています。


サーミスタの外観



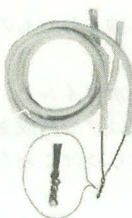
サーミスタ(1〔kΩ〕)の特性

4．熱　電　対

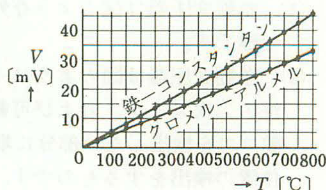
温度を電圧に変換する検出器です。

(1) 温度固定端子を一定温度に保つようにしておくと，測温端子の温度に応じた電圧が発生します。

(2) 一般には，サーミスタなどが使えない高温の温度検出器として用いられます。



熱電対の外観



熱電対の特性

5．CdS

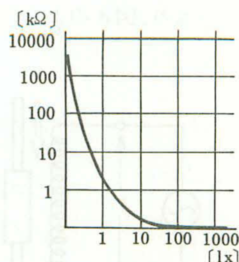
光の強さを抵抗値に変換する検出器です。

(1) 光が強くなると抵抗値が減少し，光が弱くなると抵抗値が増加します。

(2) 感度が高く，取り扱いやすいためよく用いられますが，応答速度がおそいという欠点があります。



CdS の外観



CdS の特性

6．ホトダイオード（ホトトランジスタ）

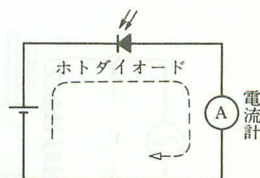
光の強さを電流に変換する検出器です。

(1) 図のように接続しておくと，光が強くなると電流が増加し，光が弱くなると電流が減少します。

(2) 感度の点ではCdSより劣りますが，応答速度と精度はよい特性をもっています。



ホトダイオードの外観



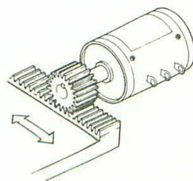
7．ポテンショメータ

可変抵抗によく似たもので，摺動（しゅうどう）部を位置検出したい部分に取りつけておくことによって位置の検出をするものです。

機械的な構成になっているため，耐久性が要求される位置の検出器としては，あまり適していません。



ポテンショメータの外観



8. 差動変圧器

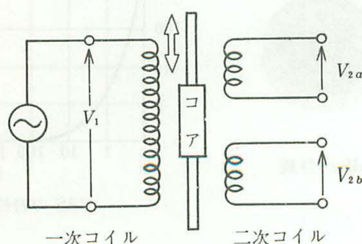
(1) 差動変圧器は図のような外観をしたもので，変圧器の一種です。



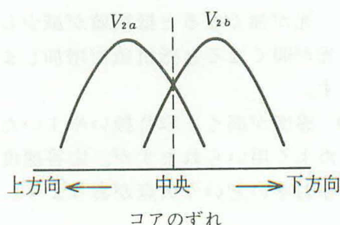
(2) 差動変圧器は図のように一次コイルと，二つの同一特性の二次コイル，および可動コアで構成されており，可動コアを検出したい部分に取りつけておくことによって位置の検出をするものです。

① 図aのように一次コイルに電圧を加えると，二次コイルにはコアの位置に応じて図bのような電圧が現れます。

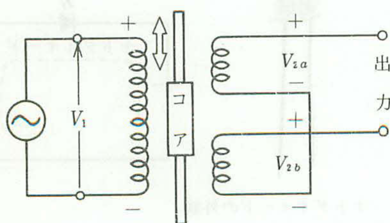
② 図cのように二次コイルを接続しておくと，出力電圧V_oは$V_o=V_{2a}-V_{2b}$となり，図dのようになって，コアの中央部からの変位を高感度で検出できます。



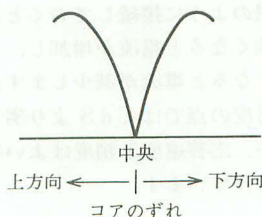
(図a)



(図b)



(図c)



(図d)

学習の展開

1　みなさんは，つぎのような部品を見たことがありますか。

これらの部品は，みなさんがこれから学習する電子制御の中心的な役割を果たす半導体素子です。

このような半導体素子は，私たちの目に直接触れることはあまりありませんが，家電製品や工場の自動化設備などの制御に数多く活用されています。

さあ　スタートだ！

「この学習が終ると
半導体につよーい人に
なっているはずだよ」

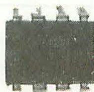
よーし
ガンバルぞ！




トランジスタ




サイリスタ

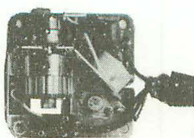
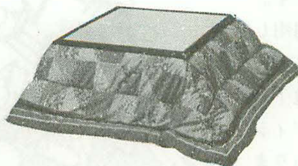



オペアンプ

2　そこで，具体的な電子制御の学習にはいる前に，このような半導体素子を活用した制御について，私たちの身近にあるものをすこし紹介しておきましょう。

図のプリント基板に組みこまれている回路は，電気コタツの温度を適温にコントロールしようとする温度制御回路です。

「このような回路が
あなたにもつくれる
ようになりますヨ
お楽しみにネ」

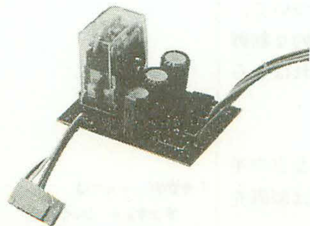
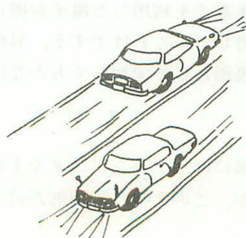



3　図のプリント基板は，対向車が近づくと自動的にヘッドライトを切り換えて，相手がまぶしくないようにコントロールするためのものです。

フーン
これは便利だナァー

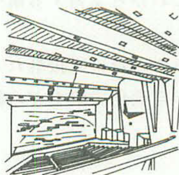
「事故も少なくなりますネ…」

ヨーシ　勉強して作るぞ！

4　また，このプリント基板は電源をＯＮにすると徐々に明るくなり，ＯＦＦにすると徐々に暗くなるというコントロール装置で，映画館の照明などでは，このような装置がよく使用されています。



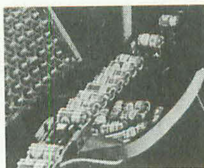


ホー
こんなこともできるの？

「今や　電子制御は
万能だよ！」

5　これは乾電池の製造工程で使われているもので，乾電池の電圧を自動的にチェックし，良品か不良品かの判定をする装置です。





「勉強したら　仕事にも
活用してね」

ハーイ
わかりました

6　このように，私たちの身近なところでも，半導体素子を活用した制御が次々に登場しています。

このような半導体素子を利用した制御を総称して**電子制御**といっています（半導体を用いた電子制御としては，このほかにもディジタルＩＣを利用したものがありますが，この分野の学習については**「無接点シーケンス制御」**を参照してください）。



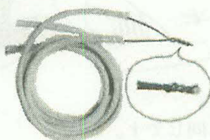
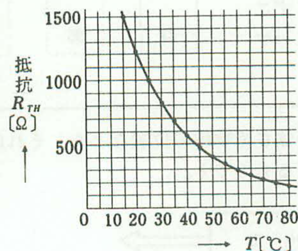
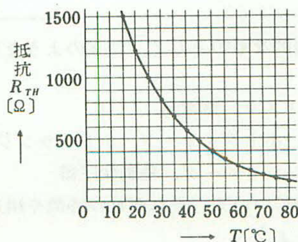
ナルホドネー
わたしも　頑張らなくちゃ…

7　それでは，これから半導体素子を利用した電子制御について，基本的なことから段階的に学習していくわけですが，具体的な制御の学習にはいる前に，その前段階として学習しておかなければならないことがあります。

電子制御の中心となる制御部には，トランジスタやＩＣなどの半導体素子が用いられていますが，このような制御部だけでは制御を行わせることはできません。

「制御については
第２章から　じっくり
学習していきます」

8　たとえば，電気コタツの温度をコントロールする場合を考えてください。 電気コタツの温度を適温にコントロールするには，まずコタツの温度が現在いくらになっているかを知らなければなりません。 また，対向車がきたとき自分の車のヘッドライトを減光する場合も同じです。 この場合も，対向車のヘッドライトの光をまず検知してくることが必要です。	フン　フン まずは　現状をしっかり把握しなくてはネ…… 「そういうこと」
9　すなわち，このような制御をかけようとすると，まずコタツの内部の温度やヘッドライトの光などを検知する必要があるわけです。 このような働きをする部分を**検出器**といいます。 制御部は，この検出器からの出力を受けてコタツのヒータや車のヘッドライトを操作します。 そこで，この章では具体的な制御部の学習にはいる前に，まずこのような検出器についてしらべてみましょう。 検出器 ⇒ 制御部 ⇒ 負荷（ヒータ，ヘッドライト）	「人間でいえば　目や耳に相当するものです」 ハイ，ハイ，
10　検出器とは，温度や光の強さや物体の位置などを，それに対応した電気量に変換し，検知するものです。 ⇒ 検出器 ⇒ 温度，光の強さ，物体の位置など 電圧，電流，抵抗などの電気量	「このようなことから検出器のことを変換器ともいっていますよ」 電気量への変換器ということだナ
11　このような検出器の代表的なものとして，つぎのようなものがあります。 ○温度の検出 ──→ サーミスタ，熱電対 ○光の検出 ──→ CdS，ホトダイオード，ホトトランジスタ ○位置の検出 ──→ ポテンショメータ，差動変圧器 それでは，これらの検出器について，それぞれの特徴や用途などを順次みていくことにしましょう。	「性質や特徴をしっかり　つかんで下さいョ」 ハーイ　わかりました

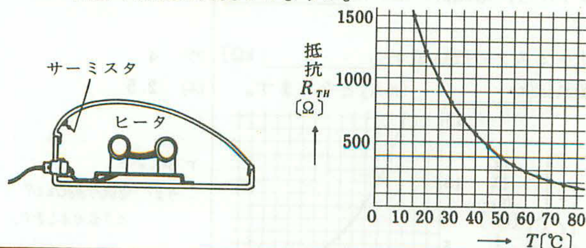
12　**温度の検出** 電気コタツや電気毛布などの温度制御に用いられている温度の検出器として，つぎのようなサーミスタや熱電対があります。  サーミスタ  熱電対	
13　**サーミスタ（Thermistor）** サーミスタは，マンガンやニッケルの酸化物を混合してつくったもので，形も比較的自由につくれ，小形で価格も安く，一般の温度検出器として非常に多く用いられています。 しかし，一般に最高使用温度が120〔℃〕程度と低く，これ以上の温度範囲では，次に学習する熱電対が利用されます。	サーミスタは 低温用 熱電対は 高温用ですネ 「そういうこと」
14　サーミスタは一種の抵抗のようなもので，図のように温度（T）が変化すると，その抵抗値（R_{TH}）が変化するというものです。 すなわち，温度が上昇すると抵抗値は(ア)＿＿＿＿くなり，温度が低下すると，反対に抵抗値は(イ)＿＿＿＿くなります。  	(ア)　小さ（低） (イ)　大き（高）
15　図は常温 25〔℃〕の状態で 1〔kΩ〕の抵抗値をもつサーミスタの特性です（サーミスタには 25〔℃〕における抵抗値が表示されています）。 つぎのような温度のとき，サーミスタの抵抗値はおよそいくらになっていますか。 20〔℃〕→(ア)＿＿＿＿〔Ω〕 40〔℃〕→(イ)＿＿＿＿〔Ω〕  	「わかるかな」 かんたん，かんたん (ア)　約 1200 (イ)　約 550

16 このようなサーミスタを，検出したい部分に取りつけておくと，その部分の温度に応じてサーミスタの電気抵抗が変化します。

したがって，サーミスタの電気抵抗を測定することによって，その部分の温度を知ることができるわけです。

さて，図のようにサーミスタを取りつけると，その抵抗値が 400〔Ω〕と測定されました。

コタツの内部の温度は何度でしょうか。



50〔℃〕

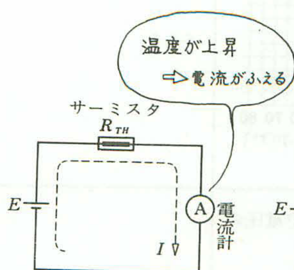
抵抗値を測定すれば温度がわかるというわけか

フン フン

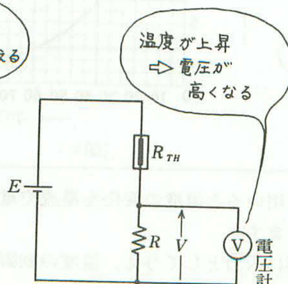
17 ところで，いまの場合はサーミスタの抵抗値によって温度を検出していましたが，このサーミスタを用いて図 a や図 b のような回路を組んでおくと，サーミスタの抵抗値変化を電流や電圧の変化として取り出すこともできます。

(1) 図 a の場合 ⇨ 回路を流れる電流 I は $I=\dfrac{E}{R_{TH}}$ となり，R_{TH} が変化すると電流の値が変化する。

(2) 図 b の場合 ⇨ 抵抗 R の両端の電圧 V は，$V=\dfrac{R}{R+R_{TH}}E$ となり，R_{TH} が変化すると電圧の値が変化する。



（図 a）



（図 b）

ナールホド
このようにすると温度の変化を電流や電圧の変化として取り出せるわけだ

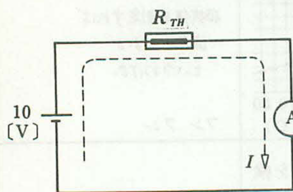
「そういうこと」

18　たとえば，図bのような特性をもったサーミスタを用いて，温度を電流に変換するために図aのような回路をつくりました。

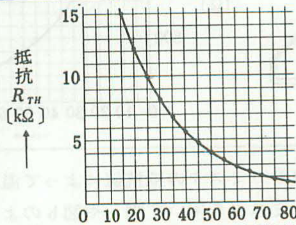
サーミスタの温度が25〔℃〕から50〔℃〕に変化したときの電流計の振れがどのようになるかみてみましょう。

サーミスタの周囲温度が25〔℃〕の場合は，サーミスタの抵抗値が(ア)______〔kΩ〕になりますから，電流計の振れは(イ)______〔mA〕となります。

また，50〔℃〕の場合は，サーミスタの抵抗値が(ウ)______〔kΩ〕となりますから，電流計の振れは(エ)______〔mA〕となります。



（図a）



（図b）

(ア)　10　(イ)　1
(ウ)　4
(エ)　2.5

「どうです うまく 電流の変化として とり出せましたか」

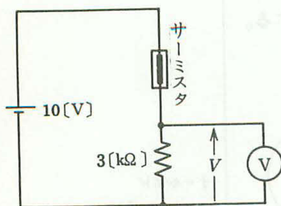
19　こんどは，図bのような特性をもったサーミスタを用いて，温度を______に変換する図aのような回路をつくりました。

電圧

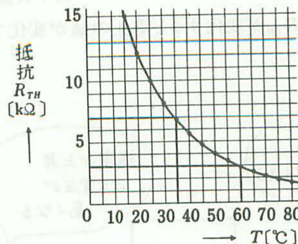
サーミスタの温度が35〔℃〕から60〔℃〕に変化したとき，出力電圧Vはどのようになりますか。

35〔℃〕のとき　→ V＝(ア)______〔V〕
60〔℃〕のとき　→ V＝(イ)______〔V〕

(ア)　3
(イ)　5



（図a）



（図b）

「電圧の変化 としても 取り出すことができるでショ」

ハーイ

20　このように，サーミスタを用いると温度の変化を電流や電圧の変化として取り出すことができます。

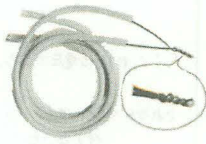
一般には，この出力を制御部に入力として与え，温度の制御を行っています。

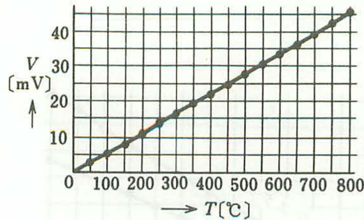
「さあ 次は 熱電対ですョ」

21 熱電対 (Thermocouple)

サーミスタは，温度の変化によって抵抗値が変化するというものでしたが，この熱電対は，温度によって電圧を発生するというものです。

図の特性からわかるように，温度が上昇するほど大きな電圧を発生するようになります。



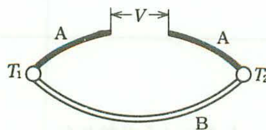


中に電池が入っているのかな

「次のフレームへ　どうぞ」

22 熱電対は，材質の異なる2種類の導線A，Bを図のように接続したとき，その二つの接合部T_1とT_2との間に温度差があると，その温度差に応じた電圧Vが発生するというものです。

この現象は，発明者の名前をとってゼーベック効果といっています。

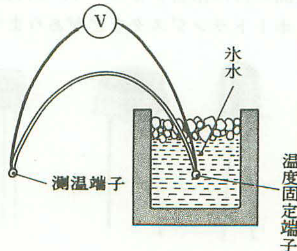


フェー
電池がなくても
導線をくっつければ
電圧が発生するんですか

「そうだよ
わずかな電圧だけどね」

23 したがって，一方の接続点(温度固定端子)の温度を一定に保つようにし，他方（測温端子）を温度検出したい部分に取りつけると，この二つの端子間の温度差に応じた電圧が得られ，温度が検出できます。

ここで，温度を固定する接続点は，たとえば魔法ビンに氷水を入れてその中に入れておくとか，あるいは，これから学習する電子制御回路を用いて温度制御をかけて一定の温度に保つなどといった方法がとられます。



「氷水にしておくと，
氷が自然にとけて，
温度固定端子は，常に
0℃に固定されるんですよ」

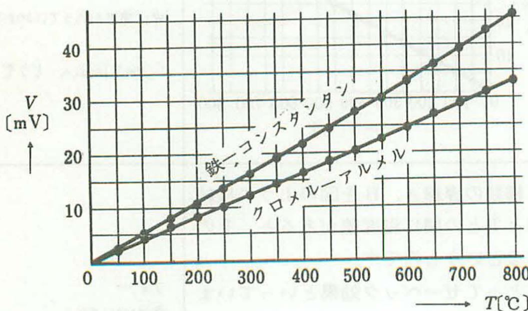
ナールホドナー

24　ところで，熱電対はこのように，一方の接続点をある基準の温度に固定しなければならないという不便さがあります。

　したがって，一般にはサーミスタが使用され，電気炉などのような非常に高い温度を測定する場合にだけ熱電対が用いられています。

「サーミスタは
最高 なん度まで使えたかな?」

25　図は，一般に市販されている熱電対について，それぞれの温度特性を示したものです（温度固定端子は0〔℃〕に固定したときの特性です)。



「ごく わずかな電圧でしょう」

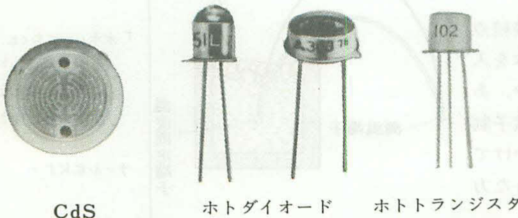
これなら 電池には
使えないな

26　**光の検出**

　私たちは日常，目で見たり，耳で聞いたり，あるいは手で触れたりすることによって，物体の有無を知ります。

　つまり，視覚や聴覚，触覚が人間の場合の検出器に相当するわけです。

　光の検出器は，この人間の目に相当するもので，代表的なものにCdSやホトダイオード，ホトトランジスタなどがあります。



CdS　　ホトダイオード　　ホトトランジスタ

CdSは シー ディー エスと
読むんですか

「そうです.
本当は 材料に使用している
硫化カドミウム（CdS）の
化学記号だけど，商品名
のようになっているんですよ」

27 CdS（硫化カドミウム）

サーミスタも抵抗の一種のようなものでしたが，このCdSも同じようなものと考えることができます。

ただし，サーミスタが(ア)＿＿＿＿＿によって抵抗値が変化するのに対して，CdSは光の強さによって抵抗値が変化する点が異なっています。

(1) 光が強くあたる ⇨ 抵抗値は(イ)＿＿＿＿＿くなる。

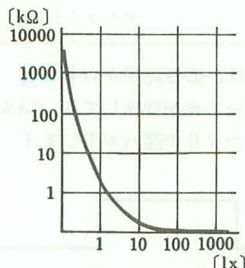
(2) 弱い光があたる ⇨ 抵抗値は(ウ)＿＿＿＿＿くなる。

(ア) 温度

(イ) 小さ

(ウ) 大き





光と温度のちがいというわけだナ

「そうですぞ」

28 このように受ける光の強さによってCdSの抵抗値が変化する現象は，テスタを用いて簡単に確かめることができます。

図のように，テスタを用いてCdSの抵抗値を測定すると，昼間の明かるい室内では抵抗値が非常に(ア)＿＿＿＿＿く，CdSを手で覆って光をしゃ断すると，抵抗値が非常に(イ)＿＿＿＿＿くなることがわかります。



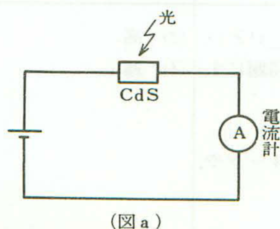
(ア) 小さ

(イ) 大き

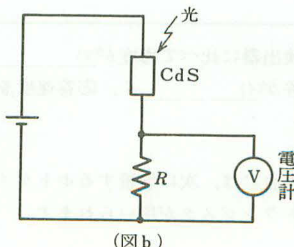
おもしろそうだナァー

「一度 実験してみるといいですネェ」

29 したがって，サーミスタと同じように，CdSを用いて図aや図bのような回路を構成すれば，光の強さを電流や電圧の値として取り出せるようになります。



（図a）



（図b）

「サーミスタの場合が記憶に残っていますか」

バッチリ

30 このCdSは，他の光検出器に比べて感度が非常に高く，ＥＥカメラやデイライトスイッチなどに広く利用されています。



EEカメラ



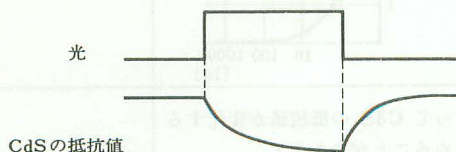
デイライトスイッチ

ディライト スイッチとは？

「街燈などの点滅で，よく利用されているもので，昼の明るいときは，スイッチが切れ，夜，暗くなると，それを検出して，ONになり街燈をつけるというものです」

31 ただ，このCdSの欠点は，応答速度がおそいということです。

図のようにCdSに加えている光が変化しても，CdSの抵抗値はすぐに追従して変化できず，かなりの遅れが生じます。



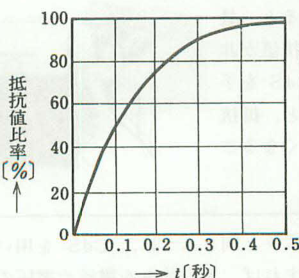
フーン にぶいわけですね

「ソー
じっくり考えて
動いているのです」

32 図はCdSに光をあてたときの応答性を示したものです。

縦軸は，最終的に落ちつく抵抗値に対する比率をとっています。

このCdSでは，光をあてたのち，この比率が50〔%〕に達するまでに何秒かかっているでしょうか。



0.1秒

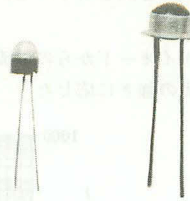
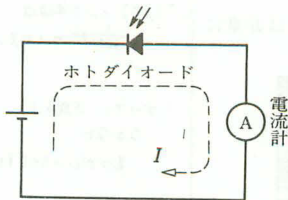
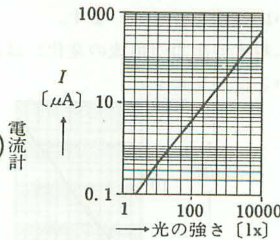
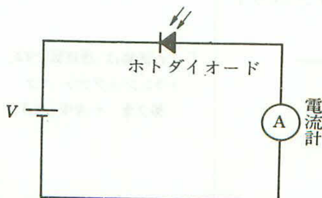
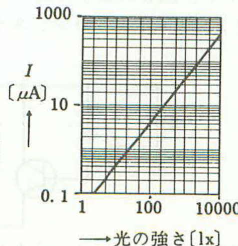
そんなに 遅くもないですネ

「マァーネ」

33 CdSは，他の光の検出器に比べて感度が(ア)________いという利点はありますが，応答が(イ)________く，応答速度を問題にするところでは使えません。

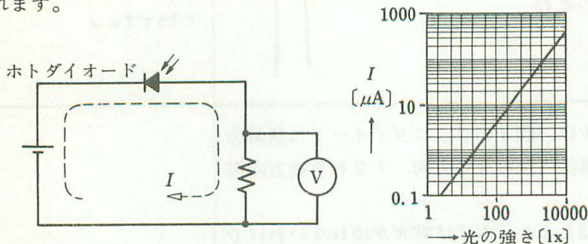
応答速度を問題にする場合には，次に学習するホトダイオードや，その原理を応用したホトトランジスタが用いられます。

(ア) 高
(イ) 遅

34 ホトダイオード（Photodiode） ホトダイオードは，CdSとともに光の検出器として非常によく用いられているもので，名前のとおりダイオードの一種です。 	ダイオードというと一方向にしか電流を流さない素子だったかなあ 「そうですよ」
35 しかし，ホトダイオードは，図aのようにダイオードに通常加える電圧の方向とは逆に，電流の流れない方向，すなわち逆方向電圧を加えて使用します。 このように逆方向電圧を加えると，本来は電流が流れないわけですが，この状態でホトダイオードに光をあてると，その光の強さに応じた電流が流れるようになります。 図bは，ＭＥＬ4760というホトダイオードの特性です。  （図ａ）  （図ｂ）	「逆方向の電圧を加えることに注意!」 わかりました
36 このとき流れる電流の値は，ダイオードに加える電圧Vの値にはほとんど影響されず，照射された光の強さに応じて変化します。 すなわち，ホトダイオードは数ボルトの逆方向電圧を加えておけば，電流の値はほとんど________によって定まってしまいます。 このようなことから，ホトダイオードは光の強さを電流に変換する素子といえます。   	光の強さ オヤ オヤ 電圧には関係しないのか 「そうですョ ほとんど影響しません」

37 また，ホトダイオードもCdSと同じように光の強さを電圧として取り出すこともできます。

すなわち，図のようにホトダイオードからの電流を抵抗に流すようにすれば，抵抗の両端から光の強さに応じた＿＿＿＿＿＿が得られます。



電圧

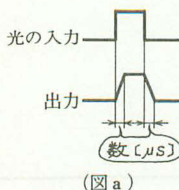
ハイ，ハイ
V＝IR でしょ

---

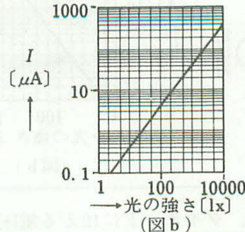
38 ところで，CdSは感度の点では申しぶんないのですが，応答速度が＿＿＿＿＿＿いという欠点がありました。

それに対して，このホトダイオードは図aのように，遅れ時間が数〔μs〕以下という非常に速い応答性をもっています。

ただ，その反面，光の強さに対する出力（電流の変化）は非常に小さく，したがって感度がよいとはいえません。



（図a）



（図b）

遅

「〔μS〕という単位は $\frac{1}{10^6}$ 秒 のことです」

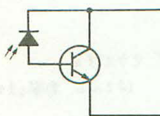
「すべてに 万能とは なかなか むづかしいものですネ」

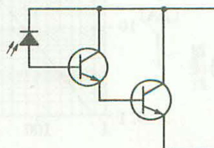
---

39 そこで，このホトダイオードの出力を図のようにトランジスタによって増幅し，その出力を取り出すようにしたものがあります。

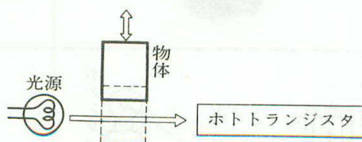
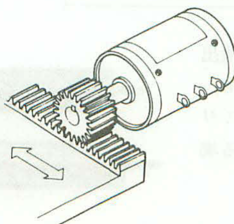
一般には，このようなものがよく用いられています。

図aのように一つのトランジスタで増幅させたものをホトトランジスタ（Phototransistor）といい，図bのように二つのトランジスタで増幅させたものをダーリントン・ホトトランジスタといっています。


（図a）ホトトランジスタ


（図b）ダーリントン・ホトトランジスタ

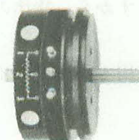
「この回路は 原理図ですよ. トランジスタについては 第2章 で学習します」

40　ところで，CdSやホトダイオードなどは基本的には光の検出器なのですが，これをうまく応用することによって物体の有無や位置の検出にも利用できます。 たとえば，光源とホトトランジスタを図のように対向して置くと，その間を物体が通過するとき光源からの光がさえぎられるため，ホトトランジスタの出力が変化しますから，物体の有無や位置を検出することができるわけです。 リレーシーケンス制御などで使用する光電スイッチなどは，この原理を利用したものです。 	なーるほど 使い方によって用途も変る 「いろんな使い方を 工夫してくださいネ」
41　位置の検出 ホトトランジスタなどの光の検出器によっても，物体の位置や変位の検出ができますが，この位置を検出するものの代表的なものにポテンショメータや差動変圧器があります。  ポテンショメータ  差動変圧器	位置専用の検出器ですネ 「そういうこと」
42　ポテンショメータ(Potentiometer) ラジオやテレビの音量や音質などを調整するために可変抵抗が用いられていますが，この可変抵抗は，実は位置の検出器として非常にべんりなものです。 可変抵抗は，つまみの回転角度に応じて＿＿＿＿が変化します。抵抗値 そこで，図のように位置を検出しようとする物体と，可変抵抗の可動軸とを連結しておくとどうでしょうか。 こうしておくと，可変抵抗の抵抗値は物体の移動に応じて変化しますから，位置の検出ができるようになります。 	ウーム ナルホド ナルホド

43 しかし，一般に用いられている可変抵抗をそのまま使っても，回転角と抵抗値の比例性や，抵抗値精度の点などで問題があります。

そこで，基本的には可変抵抗と同じですが，検出器として特に精密につくられたポテンショメータというものが使われています。





「形も 可変抵抗に よく 似てるでしょ」

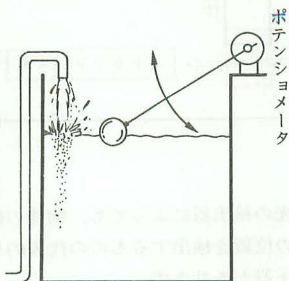
ほんとだ，ほんとだ よく似ている

---

44 図は，フロートとポテンショメータを利用して水面の位置を検出しようとするものです。

このようにしておくと，水面の位置によってフロートが上下するため，ポテンショメータの抵抗値が変化します。

これを応用すると，タンクなどの水位制御ができます。



フロートって 何ですか

「Float（浮子）のことですョ」

---

45 このポテンショメータは，位置の検出器としては非常にべんりなものですが，接触面（摺動面）があるため，耐久性や信頼性の点ではあまりよくありません。

また，その構造も機械的なもので，したがって同じ位置の検出でも，微小な位置変位を検出するには問題があります。

そこで，このような耐久性や微小な位置変位の検出が必要な場合には，次に学ぶ差動変圧器を用います。

でも 精度よく 作ってあるんでしょ

「可変抵抗としてはネ」

---

46 差動変圧器（Differential transformer）

差動変圧器は，微小変位の検出器としてよく用いられるもので，一般には数ミクロンから数十ミリメートル程度の変位を検出する場合に利用されています。



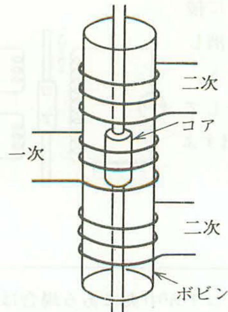
1ミクロンって いくらだったかなあ

「$\frac{1}{1000}$ ミリメータ ですよ」

ウフェー．スゴイなあ

47 差動変圧器は，その名のとおり一種の変圧器で，図のような構成になっています。

一つのボビンに一次コイルと，二つのまったく同じ特性をもった二次コイルが上下対称に巻かれており，ボビンの中には自由に動くコアがはいっています。



コアって なんですか？

「磁性体で変圧器の一次側と二次側との電磁的な結合を強くするためのものです」

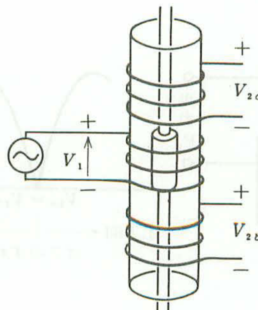
48 さて，この変圧器の一次コイルに電圧を加えると，二次側のコイルにはどのような電圧が発生するでしょうか。

変圧器の一次コイルに電圧をかけたとき，コアがちょうど中央にあれば，二次側の二つのコイルにはまったく同一の電圧が出てきます。

そして，コアが上方向や下方向に移動するとつぎのようになります。

(1) コアが上方向に移動すると V_{2a}が大きくなり，V_{2b}が小さくなる。

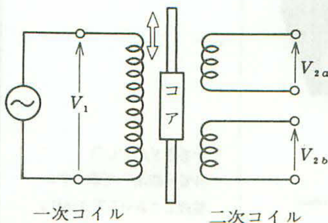
(2) コアが下方向に移動すると V_{2b}が大きくなり，V_{2a}が小さくなる。



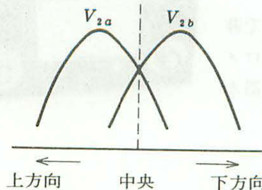
コアの位置によって電圧が違ってくるぞ

「うまく考えたでしョ」

49 この状態を図aのように，二次側コイルに電圧計をつないで測定してみると，図bのような特性が得られます。



（図a）



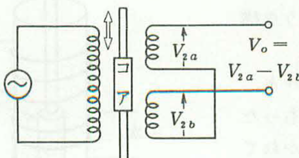
（図b）

なるほど 電圧を測定すると，コアーの位置がわかりそうだナアー

「なかなか やるな」

50 では，二次側を図のように接続し，互いの出力電圧が打ち消しあうようにするとどうでしょう。

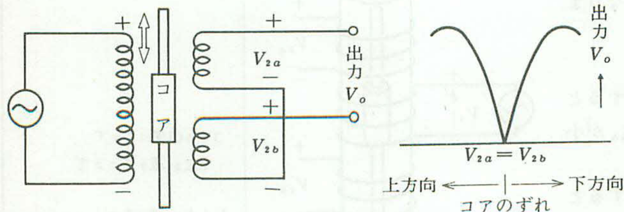
すなわち，出力電圧 V_o として $V_o = V_{2a} - V_{2b}$ の出力を出すようにするわけです。



ウーン
どんな電圧が出るのかな

51 このようにしておくと，コアが中央にある場合は $V_{2a} = V_{2b}$ となって出力は $V_{2a} - V_{2b} = 0$ となり，またコアの位置がどちらかに移動すると，その位置に応じた出力電圧が現れるようになります。

すなわち，コアの位置に応じた出力電圧が取り出せることになります。

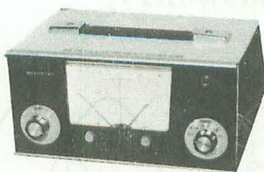


ナルホドー
位置検出したいところに，
コアーを連結しておけば
いいわけだ………
でも 差を取り出すってのは
おもしろいなあー

「だから 差動変圧器
というんですよ」

52 このような差動変圧器を利用すると，微小な位置変位を検出することができます。

たとえば，機械測定の分野で非常によく使われる電気マイクロメータなどには，この差動変圧器が用いられます。





「ご苦労さんでした．
"学習の概要"で頭の中を
整理しておいて下さいね」

練 習 問 題

1　つぎの(1)〜(6)の検出器は，それぞれ何を検出するためのものかを，(ア)〜(ウ)の中から選びなさい。

(1)　サーミスタ　　　　(ア)　温度の検出
(2)　ホトダイオード
(3)　ポテンショメータ　　(イ)　光の検出
(4)　CdS
(5)　差動変圧器　　　　(ウ)　位置の検出
(6)　熱電対

2　つぎの文章は，それぞれどのような検出器について説明したものか答えなさい。

(1)　温度の検出に用いられ，小形で価格も安く，一般に100〔℃〕程度以下のところでは非常によく利用されている。
(2)　光の検出に用いられ，感度は非常によいが，応答速度はおそい。
(3)　物体の位置の検出に用いられ，非常に高精度で，電気マイクロメータなどに応用されている。

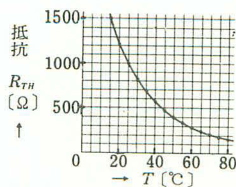
3　つぎの(1)〜(6)の検出器は，検出した量を(ア)〜(ウ)のどの電気量に変換するものか選びなさい。

(1)　サーミスタ　　　　(ア)　電圧
(2)　ホトダイオード
(3)　ポテンショメータ　　(イ)　電流
(4)　CdS
(5)　差動変圧器　　　　(ウ)　抵抗
(6)　熱電対

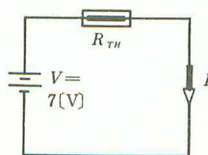
4　図aのような特性をもつサーミスタを用いて，図bや図cのような回路をつくりました。

サーミスタの温度がつぎのようになったときのサーミスタの抵抗値と，図bの回路の電流の値，図cの回路の電圧の値をそれぞれ求めなさい。

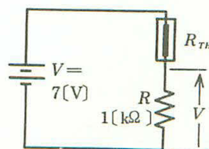
(1)　25〔℃〕のとき ⇨ R_{TH}＝＿＿＿＿〔Ω〕，I＝＿＿＿＿〔A〕，V＝＿＿＿＿〔V〕
(2)　50〔℃〕のとき ⇨ R_{TH}＝＿＿＿＿〔Ω〕，I＝＿＿＿＿〔A〕，V＝＿＿＿＿〔V〕



（図 a）



（図 b）



（図 c）

2. 電子制御の構成とトランジスタ

学習の目標

1．制御とはどのようなものか，また制御内容の種類にはどのようなものがあるかを知り，電子制御の基本構成を学習する。

2．電子制御を学習するうえで基礎となるトランジスタについて，つぎのことを学習する。

(1) トランジスタとはどのようなものか。
(2) トランジスタはどのような働きをするか。
(3) トランジスタはどのようにして活用すればよいか。

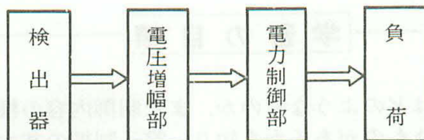


学習の概要

1．電子制御の構成

(1) 電子制御は図のように，検出器，電圧増幅部，電力制御部，および負荷によって構成されています。

- 電圧増幅部とは検出器からの信号電圧を増幅するための部分です。
- 電力制御部とは信号電圧に応じて負荷に加える電力を制御するための部分です。



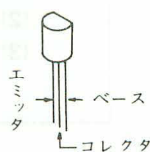
(2) 検出器からの信号電圧が大きい場合や，負荷の消費電力が小さい場合は，電圧増幅部や電力制御部が不要になる場合があります。

2．トランジスタと制御機能

(1) トランジスタの概要

① トランジスタは図 a のようにエミッタ，ベース，コレクタという 3 本の端子をもち，NPN トランジスタ，PNP トランジスタの 2 種類があります。

そして，それぞれ図 b のような図記号で表されます。

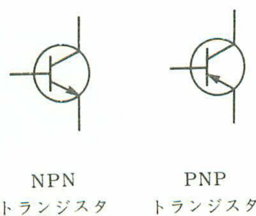


(図 a)

② 矢印のついている端子がエミッタで，この矢印の方向はトランジスタに流す電流の方向を示しています。

③ トランジスタには 2 S□……という品番がついていますが，2 S の次にくるアルファベットが A または B の場合は PNP トランジスタ，C または D の場合は NPN トランジスタを示しています。

〈例〉　2 SA　564 ──→ PNP トランジスタ
　　　2 SB　171 ──→　　〃
　　　2 SC 1684 ──→ NPN トランジスタ
　　　2 SD　365 ──→　　〃



(図 b) 図記号

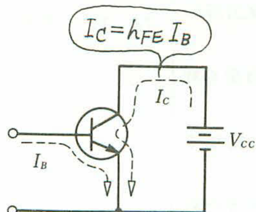
(2) トランジスタの基本動作と働き

① トランジスタの電流制御機能

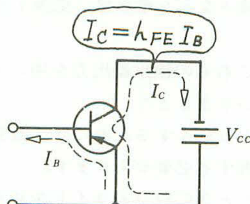
- トランジスタの種類によって，図 a や図 b のように電源 V_{CC} を接続しておいてベース電流 (I_B) を流すと，コレクタ電流 (I_C) はベース電流 (I_B) の h_{FE} 倍に制御されます。

このようなトランジスタの働きを電流制御機能といい，この h_{FE} のことを電流増幅率といっています。

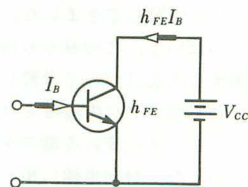
- エミッタ端子を流れる電流I_Eは$I_E=I_B+I_C$となります。
- トランジスタを用いると，図 c のように小さな電流を大きな電流に増幅することができます。



（図 a ）NPN トランジスタ



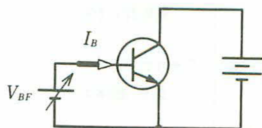
（図 b ）PNP トランジスタ



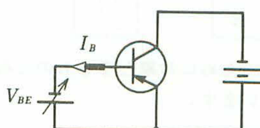
（図 c ）

② トランジスタの電圧制御機能

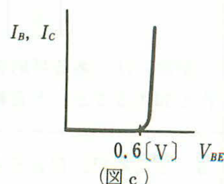
- トランジスタのベース・エミッタ間に図 a や図 b のように電圧 V_{BE}を加えると，この電圧によってベース電流I_Bは図 c のようになります。
すなわち，V_{BE}が 0.6〔V〕程度まではベース電流はほとんど流れませんが，0.6〔V〕を越えると急激に増加するようになります。
- ベース電流とコレクタ電流とは比例していますから，結局，コレクタ電流はベース・エミッタ間電圧V_{BE}によって制御されると考えることもできます。このような見方をしたトランジスタの働きを，コレクタ電流（I_C）がベース・エミッタ間電圧（V_{BE}）によって制御されるということから**電圧制御機能**といっています。



（図 a ）

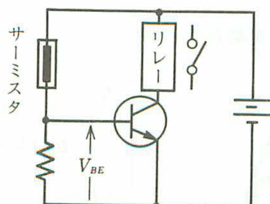


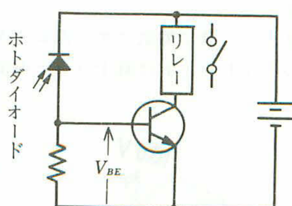
（図 b ）



（図 c ）

- トランジスタを用いると，図のように検出器からのわずかな電圧変化でリレーを制御したりすることができるようになります。





学習の展開

1　第1章では，温度や光の強さなどを電気量に変換する検出器について学習してきました。

いよいよ，この章からは，これらの検出器出力を用いて負荷を制御する方法について学習していきましょう。

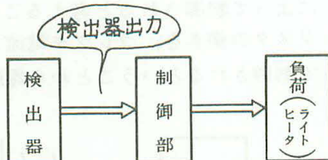
○電気コタツの温度をコントロールするためには，温度に応じてヒータに流れる電流を制御する必要があります。

○また，対向車線に車がきたときに自分のライトを減光するためには，対向車のライトを検出して自分の車のライトを制御する必要があります。

さあ　スタートだ！

2　つまり，制御を行うためには，コタツの温度や対向車のライトを検出してきた信号で，コタツのヒータや自分の車のライトを操作する必要があるわけです。

ここで，検出器出力を用いて負荷に所要の操作を加えるための部分を**制御部**といっています。



制御とは「ある目的を達成するために対象となるものに所要の操作を加えること」と定義されています。

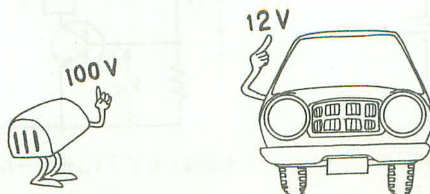
いよいよ
制御部の学習だナ

「そうですよ
まず 概要からだ」

3　ところで，ひとくちに制御といっても，その内容は負荷の種類や制御の方法によっていろいろなものがあります。

たとえば，電気コタツのヒータは交流の100〔V〕で動作するものですし，車のヘッドライトは一般に直流12〔V〕の電源で動作させています。

また，一般に電気コタツのヒータは数百ワットの消費電力ですが，車のヘッドライトは数十ワットの消費電力です。



ウーン
なかなか
むづかしいそうだナアー

「ただし
基本は同じなんですョ」

4　また，電気コタツの場合は，設定された温度からすこしでも温度が下がると上昇するように働き，また，すこしでも温度が上昇すると温度低下する方向に働くというように，常に設定された値に保つ動作をさせたほうがいいのですが，車のライトの場合は，対向車線に車がきたことを検出して減光動作に切り換える動作をさせるわけです。 温度 設定値 t 光量 t 対向車がくる 対向車が通過する	フン，フン こういう見方をすると制御の種類もいろいろだナァー 「目的に応じて うまーく制御してくださいヨ」 ハァー イ！
5　このように，ひとくちに制御といっても，負荷の種類が直流か交流か，またその消費電力がどの程度か，あるいは制御動作はどのようなものか，などによって回路の構成や使用する素子が異なってきます。 この章以降では，これらのいろいろな制御内容について，基礎的なものから段階的に学習を進めていきたいと思います。	ヨロシク　お願いします
6　まず，この章では，制御部の基本的な構成と，これからの学習の基礎となるトランジスタの働きについて学んでいきたいと思います。 それでは最初に，制御部の基本構成から学習していきましょう。	
7　まず，制御部としてどのような働きをするものが必要なのかということについて，わかりやすいように直流で回る扇風機を仮定し，温度によって回転速度を制御する場合を例に考えてみましょう。 図aは，スイッチSを手動によって操作し，扇風機を回すという基本の回路です。 この回路では，温度が上昇して暑くなってきても，スイッチSをONにしないと扇風機は回りません。 そこで，図bのようにスイッチの代わりに温度の変化を検知する＿＿＿＿＿を用いて，回路をつくってみました。 S 扇風機 (図a)　サーミスタ 扇風機 (図b)	サーミスタ 自動的に扇風機の回転速度を制御しようってわけですね 「そのつもりです」

8　このようにサーミスタを接続すると，どうなるでしょうか。

サーミスタ
扇風機

サーミスタは，温度が低いときは抵抗値が大きくなり，逆に温度が上昇すると抵抗値が減少するので，扇風機に流れる電流は，温度に応じて変化します。

○温度が低い ⇨ 抵抗値が(ア)＿＿＿い ⇨ 電流があまり流れない。

○温度が高い ⇨ 抵抗値が(イ)＿＿＿い ⇨ 大きい電流が流れる。

(ア) 大き（高）
(イ) 小さ（低）

すると 温度によって 自動的に扇風機の回転速度が変化するぞ！

「次のフレームへ どうぞ」

9　しかし，このままの回路では扇風機はとても回ってくれません。なぜだと思いますか。

実は，これには二つの問題があります。

ヘエー なぜかな？

10　まず一つは，サーミスタの抵抗値の変化の問題です。

たとえば，図のように扇風機には20〔V〕, 1〔A〕のモータが取りつけられていたとしましょう。

サーミスタ
20〔V〕
20〔V〕
1〔A〕
M

この場合，このモータの回転速度をコントロールするためには，モータに流れる電流を，温度によって0〔A〕付近から1〔A〕近くまで制御できるようにしなくてはなりません。

すなわち，サーミスタの抵抗は，ほぼ0〔Ω〕付近から，モータに流れる電流を0にするようなかなり大きな抵抗値まで，温度によって変化しなければならないことになります。

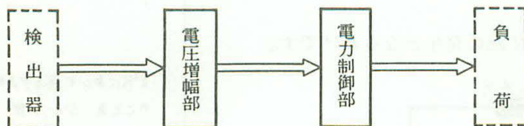
$I=\frac{V}{R}$ だから 0Ωから 無限大近くまでということか
これは ちょっと やっかいだぞ

11　サーミスタの抵抗変化は，いろいろな温度検出器の中でもかなり感度のいいほうですが，それでも室内の温度変化程度では，それほど大きな変化はしません。

フン，フン やっぱりネエー

12 もう一つの問題は，サーミスタに1〔A〕もの電流を流すことができないということです。 サーミスタは抵抗ですから，電流を流せば電力損失（I^2R）を生じます。 そして，その電力損失はすべて熱の発生となるわけです。 サーミスタ 20〔V〕 M 20〔V〕 1〔A〕	「I^2Rによって発生する熱のことを ジュール熱 といっています」
13 サーミスタ内部でこのような熱が発生すると，この熱によってサーミスタ自身の抵抗値が変化を受けてしまいます。 つまり，温度を検出すべきサーミスタが，自分自身から発生した熱に影響されて抵抗値を変化させてしまうことになるわけで，これらはすべて誤差となってしまいます。	ナルホド
14 このようなことは，サーミスタだけでなく，他の検出器についてもいえることですが，検出器をできるだけ少ない誤差で動作させるためには，できるだけ＿＿＿＿い電流で動作させる必要があるわけです。	小さ（少な）
15 もう一度整理すると，図のような回路を構成して，温度によってモータの回転速度をコントロールしようとしても，つぎの二つのことが原因でうまく動作させることができないのです。 (1) サーミスタの抵抗値変化が(ア)＿＿＿＿い。 (2) サーミスタに大きな電流を流すことが(イ)＿＿＿＿。 サーミスタ M	(ア) 少な (イ) できない
16 それでは検出器を用いて負荷を制御しようとする場合，どのようにすればよいのでしょうか。	

17　検出器を用いて負荷を制御する場合は，以上のことから，図のように検出器と負荷との間に電圧増幅部や電力制御部と呼ばれている回路が必要となってくるのです。

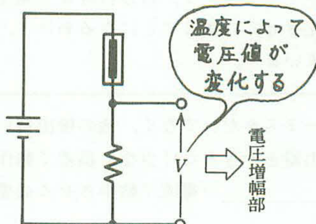


電圧増幅部とは，小さな信号電圧を大きな信号電圧に増幅するためのものです。

また，**電力制御部**とは，負荷に加える電力を制御するためのものです。

そして，検出器からの出力は電圧値で取り出すようにしておきます。

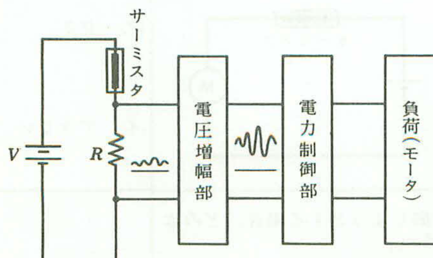
つまり，検出器を図のように接続し，その出力を電圧増幅部に加えるわけです。



フーン
電圧増幅や電力制御を行なうわけか……

「回路はあとのおたのしみに……」

18　このようにすれば検出された信号電圧がたとえ小さくても，電圧増幅部で大きな信号電圧に増幅し，さらに後段の電力制御部で負荷を制御できるようになります。

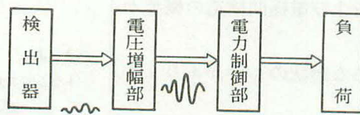


検出器がサーミスタでないときも，検出出力は電圧値として取り出すわけですね

「そういうこと」

19 すなわち，検出器を用いて負荷を制御しようとする場合には，図のように検出器の出力を電圧出力とし，そしてその電圧出力を電圧増幅部で大きな電圧に増幅し，さらにその出力を電力制御部に加えて，モータなどの大電力負荷を制御するということになります。

つまり，検出器を用いて負荷を制御する場合，一般には図のような構成になっています。



「これが電子制御の基本構成ですよ」

ハーイ　覚えておきます

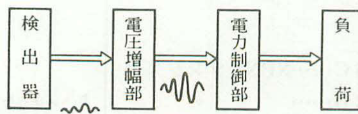
20 ただし，電子制御の基本構成がいつもこのような形ばかりだとは限りません。

検出器によっては大きな検出出力電圧が得られる場合もあります。

このような場合は，もちろん(ア)＿＿＿＿部は不要です。

また負荷についても，モータのように大きな電力を必要とするものではなく，たとえば表示だけをさせる場合などは，メータのような小電力で働くものが負荷となりますから，このようなときには(イ)＿＿＿＿部はいりません。

したがって，実際には，必要に応じて電圧増幅部や電力制御部をつければいいことになります。



(ア)　電圧増幅

(イ)　電力制御

21 では，このような電圧増幅部や電力制御部は，どのようにしてつくればいいのでしょうか。

まず，電圧増幅をさせるための半導体素子としては，トランジスタやオペアンプがあります。

また，電力制御をするための半導体素子としては，同じくトランジスタや，すこし動作は異なりますが，サイリスタなどがあります。

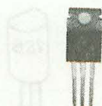
トランジスタは　どちらにもいけるんですね.

「そうですよ.
トランジスタは　半導体素子の基本であり，電子制御を構成する上で，一番重要な素子なんです」


トランジスタ


オペアンプ

(図ａ)　電圧増幅用素子


トランジスタ


サイリスタ

(図ｂ)　電力制御用素子

22　これから学習が進むにつれて，サイリスタやオペアンプについても取り扱っていきますが，まず第一段階として，トランジスタを用いたものについて学習していきたいと思います。

23　トランジスタ（Transistor）

それではトランジスタの種類と表示，および電極間構造の概要から学習を始めることにしましょう。

トランジスタにはつぎのようにいろいろな形状のものがあります。

いよいよ
トランジスタの学習だな
頑張るぞ！

「その意気
その意気」

24　そして，トランジスタには，基本的にＮＰＮ形とＰＮＰ形という二つの種類のものがあります。

一般のトランジスタには，２Ｓ□……というような品番がついていますが，Ｓの次のアルファベットがＡまたはＢのものはＰＮＰトランジスタで，ＣまたはＤのものはＮＰＮトランジスタであることを意味しています。

２ＳＡ……PNPトランジスタ　　２ＳＣ……NPNトランジスタ
２ＳＢ……　〃　　　　　　　　２ＳＤ……　〃

「このような記号のつけ方は，電子機械工業会で定められています。」

25　これらはいずれも，外形や基本動作はまったく同じものですが，内部構造がちがっており，使用法もすこし異なっていますから，表示を見ればどちらのタイプのトランジスタか区別がつくようにしてください。

つぎのトランジスタは何形でしょうか。

2SA　　2SD　　2SB

(ア)＿＿＿＿形トランジスタ　　(イ)＿＿＿＿形トランジスタ　　(ウ)＿＿＿＿形トランジスタ

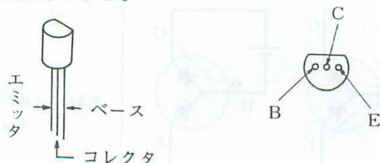
「しっかり覚えておいて
下さいヨ」

ハーイ
わかりました

(ア)　ＰＮＰ
(イ)　ＮＰＮ
(ウ)　ＰＮＰ

26　そして，いずれの形のトランジスタにも３本の端子があり，それぞれの端子をベース，エミッタ，コレクタといっています。

このベース，エミッタ，コレクタはそれぞれB，E，Cという記号で表示され，どの端子がなんという端子なのかということは，カタログに示されています。



見ただけでは
わからないわけですね

「まあね.
色んな表示の仕方が
あるから……」

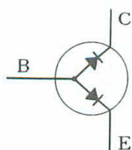
27　では次に，トランジスタの３本の電極の中身がどのようになっているのかをみていきましょう。

トランジスタにはNPN形トランジスタとPNP形トランジスタという２種類のものがありましたが，これらの内部は基本的にはダイオードが図のように接続されたような形になっています。

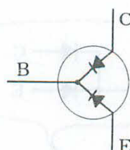
NPNトランジスタの場合は，ベースからエミッタ，ベースからコレクタの方向に，それぞれダイオードがはいったようになっています。

また，PNPトランジスタの場合は，エミッタから(ア)＿＿＿＿＿＿，コレクタから(イ)＿＿＿＿＿＿の方向に，それぞれダイオードがはいったようになっています。

(ア)　ベース
(イ)　ベース



NPNトランジスタ

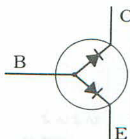


PNPトランジスタ

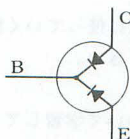
ホー
それなら ダイオード 2つで
トランジスタができるのかな？

「あわてない
あわてない」

28　トランジスタにはNPNトランジスタとPNPトランジスタという二つの種類があり，これらは図のようにベースを中心にして二つのダイオードが互いに逆方向に接続されたような内部構成をしています。



NPNトランジスタ

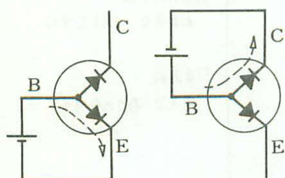


PNPトランジスタ

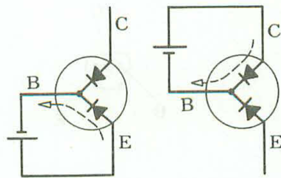
「ベースから外向きがNPN.
ベースを向いているのが
PNP形です」

よし　覚えておこう

29　したがって，ベース・コレクタ間やベース・エミッタ間に図のように電圧をかけると，それぞれのダイオードに順方向電圧が加わることになって，電流が流れます。



NPNトランジスタの場合



PNPトランジスタの場合

本当に このように なるんですね

「もちろん」

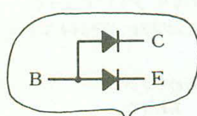
30　この性質を利用すれば，トランジスタの良否をチェックする場合，テスタを用いてこのような方向に電流が流れるかどうかをしらべることによって，およその判定ができます。

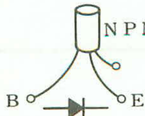


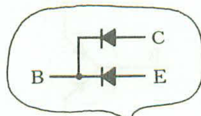
フン フン
ダイオードが 正常かどうか を見れば いいわけだ.

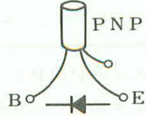
「わかりが早いね.
その調子，その調子」

31　また，トランジスタのベース・エミッタ間やベース・コレクタ間を，つぎのようにダイオードの代用として用いることもできます。









ナルホド

「電極構造を しっかり
覚えておいて下さいよ」

32　以上で，トランジスタの種類や，それらの外形，あるいは電極間の関係については理解できましたね。

これらのことは，トランジスタを実際に使っていく際に意外に役に立つことですから，覚えておいてください。

それではトランジスタ本来の働きについて学習していくことにしましょう。

「いよいよ
ですゾー」

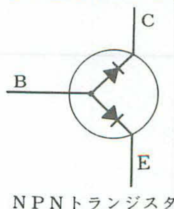
本文	欄外
33 トランジスタの働き (1)	

トランジスタの内部はそれぞれ図のようになっていることを知りました。

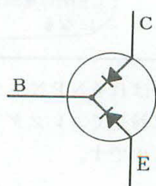
しかし，トランジスタはこのような単純な素子ではありません。

いままでの話は，トランジスタの３本の電極のうち，ベースとエミッタ，あるいはベースとコレクタという，それぞれ２本の電極間の関係だけを単独に考えたので，このような見方になったわけです。

トランジスタの３本の電極に同時に電圧をかけてみると，もっとちがった特性が現れてきます。



NPNトランジスタ



PNPトランジスタ

ホー
どんな特性が
でるんかな

「次のフレームへ
どうぞ」

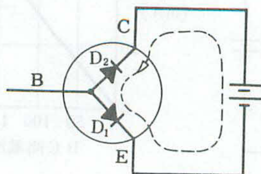
---

34 わかりやすくするために，ここではNPNトランジスタを中心に考えることにしましょう。

NPNトランジスタのコレクタ・エミッタ間に，図のように電圧を加えてみます。

図の場合は，D_1については順方向電圧ですが，D_2に対しては逆方向となるため，破線のような方向の電流は＿＿＿＿＿。

では，この状態で，さらにベース・エミッタ間にも電圧を加えてみましょう。



流れません

何か意味あり気だなあ

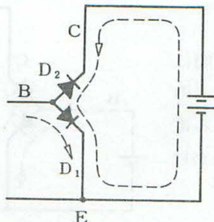
「マアーネ」

---

35 図の場合は，D_2のダイオードが逆方向になっているため，このままではコレクタ・エミッタ間に電流は流れませんね。

ところが，この状態でベース・エミッタ間に電流を流すことによって，実はこのダイオードD_2に電流が流れるようになるのです。

この現象が，単にダイオードを二つ接続しただけではない，トランジスタ独特の動作なのです。

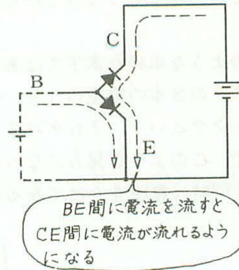


オヤ オヤ
D_2をつき抜けて
電流が流れるわけですか

「そうなんです」

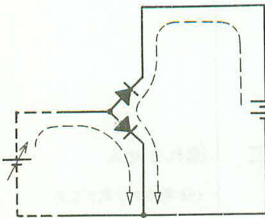
36　すなわち，図のようにコレクタ・エミッタ間に電圧を加えておき，さらにベース・エミッタ間に電圧を加えてベース・エミッタ間に電流を流すと，コレクタ・エミッタ間に図のような電流が流れるようになります。

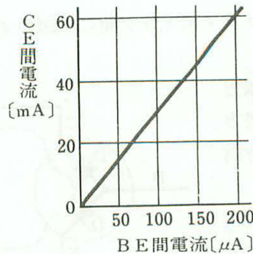
そして，ベース・エミッタ間に流れる電流を増加すると，コレクタ・エミッタ間に流れる電流も増加します。



37　つぎのグラフは２ＳＣ1684と呼ばれるＮＰＮトランジスタについて，ベース・エミッタ間の電流に対してコレクタ・エミッタ間の電流がどのようになるかを示したものです。

グラフからわかるように，ベース・エミッタ間の電流が０のときはコレクタ・エミッタ間の電流も(ア)＿＿＿＿＿となり，またベース・エミッタ間の電流を増加させると，コレクタ・エミッタ間の電流も(イ)＿＿＿＿＿しています。





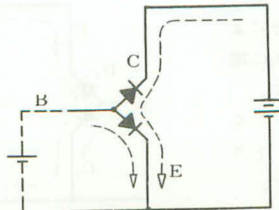
(ア)　0

(イ)　増加

フン フン
ナルホドー

38　つまり，トランジスタはコレクタ・エミッタ間に電圧を加えておき，ベース・エミッタ間に電流を流すと，この電流によって，(ア)＿＿＿＿＿・エミッタ間に電流が流れるようになるわけです。

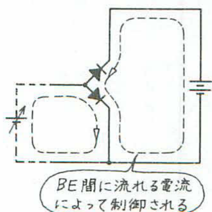
そして，ベース・エミッタ間に流れる電流を増加させると，このコレクタ・エミッタ間に流れる電流も(イ)＿＿＿＿＿するというわけです。



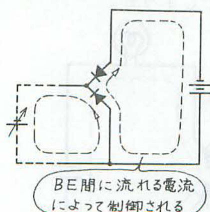
(ア)　コレクタ

(イ)　増加

39　このことはNPNトランジスタだけにいえることではなく，PNPトランジスタであっても同じような動作をします。



NPNトランジスタ



PNPトランジスタ

アレ アレ
PNP の場合は
電流の方向が違うぞ！

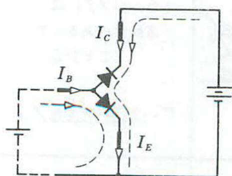
「電流の方向については，
あとで 学習します」

40　ここで，トランジスタのベース・エミッタ間に流れる電流のことを，ベース端子を流れる電流ということで**ベース電流**（I_B）といい，コレクタ・エミッタ間に流れる電流のことを，コレクタ端子を流れる電流ということで**コレクタ電流**（I_C）といっています。

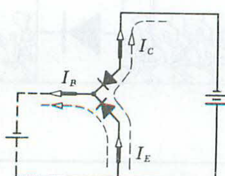
そして，このI_BとI_Cはともにエミッタ端子にも流れるようになりますが，この電流を**エミッタ電流**（I_E）といっています。

NPN，PNPのいずれのトランジスタの場合でも，これらのI_B，I_C，I_Eの間にはつぎの関係があります。

$$I_E = I_B + I_C$$



NPNトランジスタ

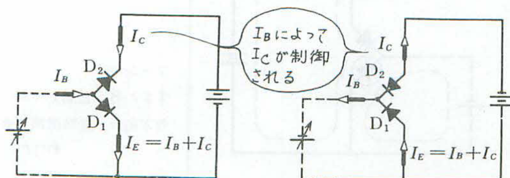


PNPトランジスタ

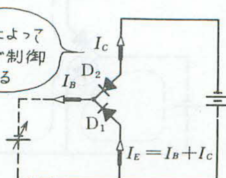
エミッタ端子を
共通にして，I_B，I_Cが
流れるわけですね

41　つまり，トランジスタにはベース電流（ベース・エミッタ間に流れる電流）I_Bによってコレクタ電流（コレクタ・エミッタ間に流れる電流）I_Cを制御する働きがあるわけです。

このようなトランジスタの働きを**電流制御機能**といっています。



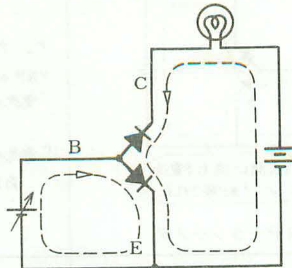
NPNトランジスタ



PNPトランジスタ

「トランジスタ動作の
基本ですから
しっかり覚えて下さいヨ」
ハーイ．

42　ではトランジスタのコレクタ・エミッタ間に図のようにランプと電源の回路を接続しておき，ベース電流をつぎのように変化させると，ランプはどのようになるでしょうか。



ベース電流＝0のとき⇨ランプに電流が流れず，点灯しない。
ベース電流を増加する⇨ランプに流れる電流が増加し，明るくなる。
ベース電流を減少する⇨ランプに流れる電流が減少し，暗くなる。

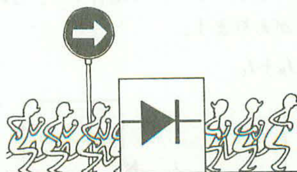
フン　フン
ナルホド
ナルホド

43　さて，トランジスタにはこのような電流制御の働きがあることがわかりました。

ところで，トランジスタにこのような動作をさせるためには，一つの条件があります。

それはトランジスタに流す電流の方向です。

トランジスタは，どの方向に電流を流しても同じ働きをするわけではありません。

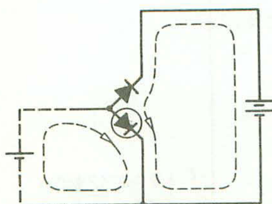


トランジスタには方向性があるってことだな

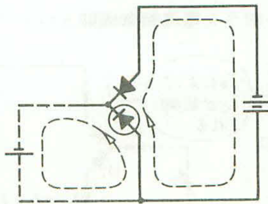
「一方通行に注意！」

44　トランジスタには，ベース・エミッタ間のダイオードの矢印にそって電流が流れるような方向に電圧を加える必要があります。

そこで，NPNトランジスタであれば図aのように，またPNPトランジスタであれば図bのように，それぞれ電圧を加えます。



（図a）NPNトランジスタの場合



（図b）PNPトランジスタの場合

フーン
するとB－E間ダイオードの方向が，道路標識ってわけか

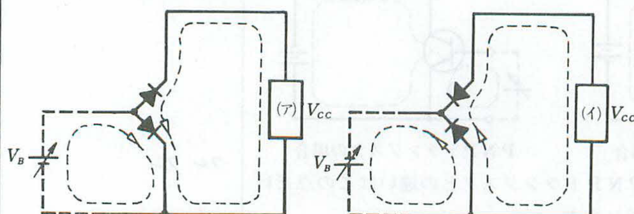
「そういうこと」

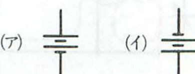
45 トランジスタをうまく働かせるためには，ベース電流I_Bがそれぞれ図のように流れるような電圧V_Bを加え，またコレクタ電流が図のように流れるように電圧 V_{CC} を加えなければなりません。

トランジスタは非常にべんりなものですが，この約束だけは確実に守らないと動作しません。

「約束やぶっちゃ
ダメですョ」

ハーイ





（図a）NPNトランジスタの場合　（図b）PNPトランジスタの場合

46 ところで，この約束については，トランジスタの図記号にも簡潔に表示されています。

図aはNPNトランジスタの図記号を，図bはPNPトランジスタの図記号を示しています。

NPN形とPNP形のそれぞれの図記号を見てわかるように，ベース・エミッタ間のダイオードの方向だけを矢印で表示してあります。

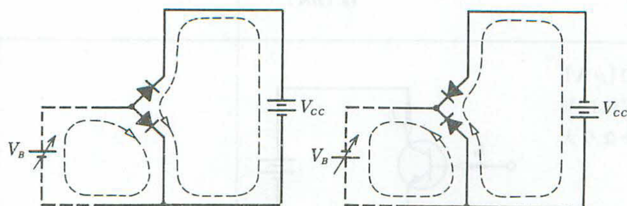


（図a）NPNトランジスタ　（図b）PNPトランジスタ

ですから，トランジスタを使うときには，この矢印に合うようにベース電流を流し，この矢印に合ったコレクタ電流が流れるような電圧をコレクタ・エミッタ間に加えればいいのです。

ナールホド
これはわかりやすいや

「図記号って　うまく
考えてあるでしョ」

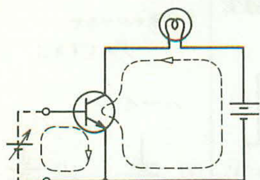


（図c）NPNトランジスタの場合　（図d）PNPトランジスタの場合

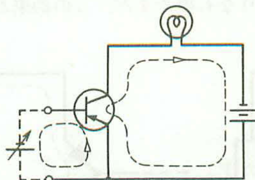
47　トランジスタの図記号と，その意味がわかりましたね。

エミッタの矢印は，電流の方向を表示しているわけです。

したがって，ランプの電流を制御する場合にも，トランジスタの種類によってつぎのように接続しなければなりません。



NPNトランジスタの場合



PNPトランジスタの場合

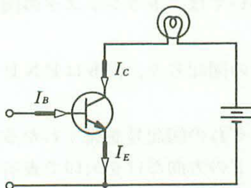
NPNトランジスタとPNPトランジスタとの違いはこの点だけで，他の動作はまったく同じです。

フン フン

OK, OK.

48　それではもとにもどって，トランジスタの電流制御機能について，ひき続き学習を進めていきましょう。

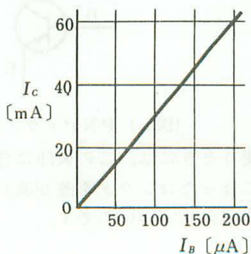
これまでの学習で，トランジスタのベース電流(I_B)によって，コレクタ電流(I_C)を制御できるということがわかりました。



これはもう
バッチリ

49　ところで，さきほどの2SC1684の特性表をもう一度見なおしてみてください。

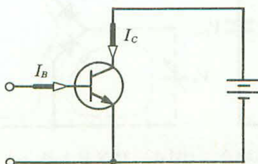
ベース電流 I_B の変化に対して，コレクタ電流 I_C の値はどのようになっているでしょうか。



I_Bが 0〔μA〕から 50〔μA〕まで変化すると，I_C は(ア)＿＿＿＿〔mA〕から(イ)＿＿＿＿〔mA〕まで変化しています。

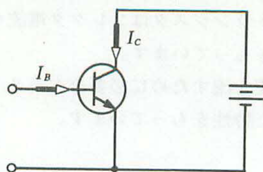
(ア)　0
(イ)　15

50　ベース電流I_Bの 0～50〔μA〕という非常に小さな値の変化に対して，コレクタ電流I_Cはかなり大きく変化していますね。



フン フン
およそ300倍に
なってるなあ

51 このことからわかるように，トランジスタはベース電流 I_B によってコレクタ電流 I_C の流れを制御するだけでなく，非常に小さいI_Bの値でI_Cの値を大きく変化させることができるのです。



ここで，ベース電流 I_B の値に対して，何倍のコレクタ電流 I_C が流れるかという比率を**電流増幅率 h_{FE}** といっています。

この値はカタログに必ず明記されていますが，一般に数十から数百の値をもっています。

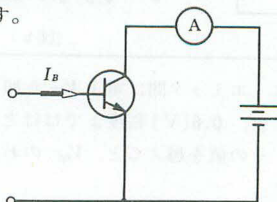
すなわち，トランジスタはベース電流 I_B の非常に小さな変化に対して，コレクタ電流の値を数十倍から数百倍に増幅させることができるわけです。

ナールホド
すると　電流制御機能は
電流増幅機能とも
いえるわけだ.

「見方を変えればネ」

52 したがって，単に電流を増幅しようとする場合であれば，トランジスタを用いて図のような回路を構成することによって簡単に小さな電流を大きな電流に増幅できます。

たとえば，図の回路でトランジスタの h_{FE} が100のとき，I_Bを0から20〔μA〕まで変化させると，電流計の指示はどのようになりますか。



$I_B=0$ のとき ⇨ (ア)＿＿＿＿〔mA〕

$I_B=20$〔μA〕のとき ⇨ (イ)＿＿＿＿〔mA〕

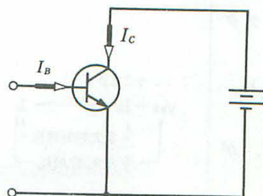
フン　フン
電流増幅率倍に
なるわけだな

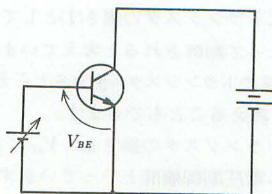
(ア)　0

(イ)　2

53 トランジスタの働き　(2)

これまではトランジスタにベース電流 I_B を流したときのコレクタ電流 I_C の動作について考えてきましたが，次にベース・エミッタ間の電圧 V_{BE} が変化した場合はどうなるかを考えてみましょう。





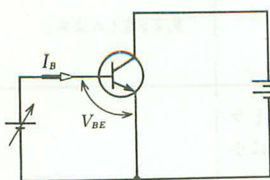
「今までは．I_Bに対する
I_Cの変化 をみてきました.
これからは．V_{BE}に対する
I_Cの変化を みていこう
というわけですョ」

54　すでに学んだように，トランジスタはコレクタ電流をベース電流の h_{FE} 倍に増幅する働きをもっています。

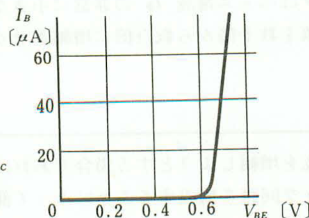
ところで，このベース電流を流すために必要なベース・エミッタ間の電圧は，すこし変わった特性をもっています。

図bは，図aの回路でベース・エミッタ間に加える電圧 V_{BE} を0〔V〕からしだいに上昇させていったときのベース電流 I_B の特性を示しています。

これを見ると，V_{BE} が0.6〔V〕程度まではベース電流 I_B はほとんど流れませんが，この値をすこし越えると急激に電流が流れ始めています。



（図a）



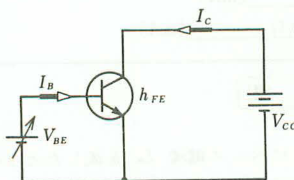
（図b）

ナルホド
変な特性だなあ

「でも　0.6〔V〕から
立ち上っていると
覚えると簡単ですョ」

55　トランジスタのベース・エミッタ間に電圧 V_{BE} を加え，その電圧を徐々に上昇させていくと，0.6〔V〕程度まではほとんどベース電流 I_B は流れませんが，その値を越えると，V_{BE} のわずかの上昇で I_B の値が急上昇します。

一方，ベース電流が流れると，その＿＿＿＿＿＿倍の電流がコレクタ電流として流れますから，I_B が急上昇すれば，それにともなって I_C も急上昇するようになります（コレクタ・エミッタ間には，電圧を加えておくことが必要です）。



h_{FE}

ナルホド
V_{BE}によって　I_Bが増加し
I_Bによって　I_Cが増加
するってわけだ

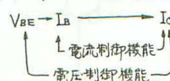
「そのとおり」

56　ところで，さきほどはトランジスタの働き(1)として，コレクタ電流I_Cがベース電流I_Bによって制御されると考えていました。

しかし，V_{BE}とI_Cとの関係でトランジスタの働きをとらえると，V_{BE}によってI_Cが制御されると考えることもできます。

このような見方をしたトランジスタの働きを，V_{BE}によってI_C が制御されるということから**電圧制御機能**といっています。

こういうことかな

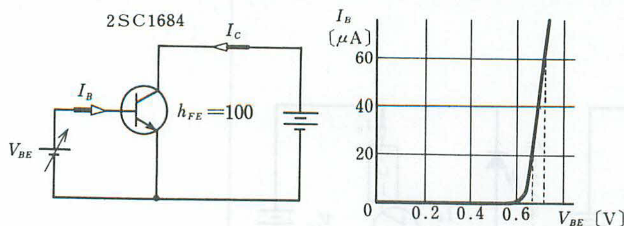


57 つぎのグラフは２ＳＣ1684の V_{BE} - I_B 特性です。

図のような回路で V_{BE} の値をつぎのようにしたとき，コレクタ電流 I_C がいくらになるか求めてください。

V_{BE} ＝0.67〔V〕⇨ I_C ＝(ア)＿＿＿＿〔mA〕　　(ア) 2

V_{BE} ＝0.72〔V〕⇨ I_C ＝(イ)＿＿＿＿〔mA〕　　(イ) 6



この例題をみても，ベース・エミッタ間の電圧 V_{BE} の変化によってコレクタ電流 I_C が急激に変化することがわかりますね。

「電圧制御機能は しっかり把握して下さいョ」

ハーイ
わかりました

58 それでは，図のようにサーミスタを接続し，温度によって図の電圧 V_{BE} が変化するようにしておくとどうでしょうか。

温度が低い状態では，V_{BE} の値が0.6〔V〕以下となって I_B を流さないように抵抗 R_B や電源電圧の値を設定しておきます(一般に電源としては，図ａのように V_{BB} と V_{CC} の二つを用いるようなことはしないで，図ｂのように一つの電源で共用するようにしています。)

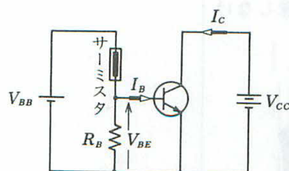
温度が上昇する ⇨ サーミスタの抵抗値が(ア)＿＿＿＿する。　　(ア)　減少

⇩

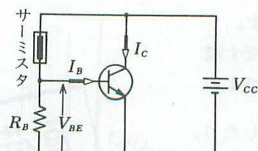
V_{BE} が(イ)＿＿＿＿くなる。　　(イ)　大き

⇩

I_B，I_C が(ウ)＿＿＿＿する。　　(ウ)　増加



(図ａ)

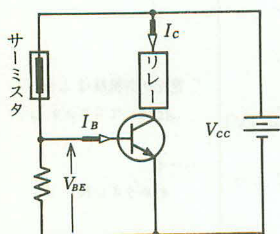


(図ｂ)

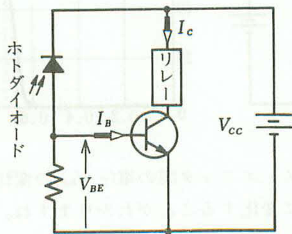
ナルホド
ナルホド

59　V_{BE} のわずかな変化によって，コレクタ電流I_Cの値がかなり大きな変化をすることがわかりましたね。

この性質を利用して，たとえば温度や光などによってリレーを駆動し，その接点によってモータなどを動作させる場合には，図ａや図ｂのようにサーミスタやホトダイオードを接続し，コレクタ回路にリレーを接続しておけば，温度や光の変化に応じてリレーを働かせることができます。



（図ａ）



（図ｂ）

図ａの場合

温度が上昇する ⇨ V_{BE} が(ア)＿＿＿＿する ⇨ I_B が(イ)＿＿＿＿する

⇩

リレーが働く ⇦ I_C が(ウ)＿＿＿＿する

図ｂの場合

光が強くなる ⇨ V_{BE} が上昇する ⇨ I_B が増加する

⇩

リレーが働く ⇦ I_C が増加する

(ア)　上昇　　(イ)　増加

(ウ)　増加

フンフン
図aは ある程度以上になると，
リレー接点を ONに
しようというわけだナ

「そうですヨ
図bは ある光の強さ以上に
なれば，リレー接点を
ONに しようというわけです」

60　いままでの学習で，トランジスタとはどのような働きをもつものかということと，トランジスタの簡単な応用について学習してきました。

ところで，このようにトランジスタを用いる場合に，注意しなければならないことがあります。

それは，トランジスタに流す電流や，加える電圧の大きさです。

むやみに大きな電流を流したり，大きな電圧を加えたりすると，トランジスタは破損してしまいます。



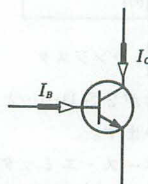
「暴飲暴食は
からだをこわすもと」

61　いままではI_CやI_B，あるいは電源V_{CC}の大きさについては何も触れませんでしたが，これらの大きさにはそれぞれ制限があります。

I_CやI_Bについては，**最大コレクタ電流**（$I_C max$）または**最大ベース電流**（$I_B max$）として，この値を規定しています。

最大コレクタ電流とは，トランジスタのコレクタに流してもよい最大のコレクタ電流の値のことであり，最大ベース電流とは，ベースに流してもよい最大のベース電流の値のことです。

つぎの表は，2SD318というトランジスタの最大コレクタ電流と最大ベース電流の値を示したものです。



2SD318

最大コレクタ電流($I_C max$)	3〔A〕
最大ベース電流($I_B max$)	1〔A〕

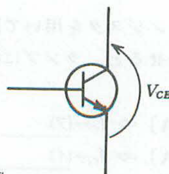
「これらの定格は必らず守って下さいヨ」

ハーイ　わかりました

62　同様に，電源V_{CC}の大きさについても，トランジスタのコレクタ・エミッタ間にかかる電圧（V_{CE}）の値で規定しています。

すなわち，トランジスタのコレクタ・エミッタ間に加えてもよい最大の値を最大コレクタ・エミッタ電圧（$V_{CE}max$）といいます。

2ＳD318の場合は，この電圧V_{CE}の値が＿＿＿＿＿〔V〕を越えないようにして使用する必要があります。



2SD318

最大コレクタ・エミッタ電圧($V_{CE} max$)	60〔V〕

60

63　トランジスタを用いる場合，これらの制限値を必ず守るようにしないと，正常な動作を得ることができないばかりか，トランジスタを破損させてしまうことになりますから，注意してください。

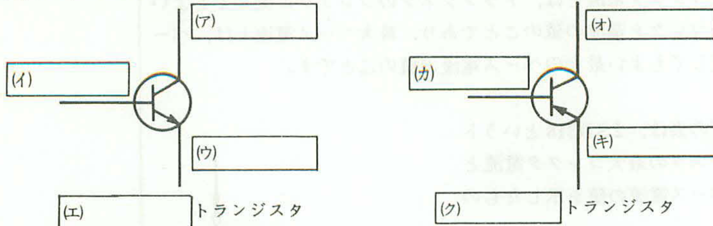
「どうも
ご苦労さん でした」

練習問題

1　つぎの文章や図の＿＿＿＿＿の中に適する言葉を入れ，文章を完成しなさい。

(1)　図はトランジスタの図記号です。

3本の端子の名称，およびNPNトランジスタかPNPトランジスタかをそれぞれ図中に記入してください。

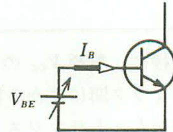


(2)　トランジスタの品番が2SD……となっているのは＿＿＿＿＿トランジスタであることを意味しています。

(3)　トランジスタは，ベース・エミッタ間に流す電流（I_B）によってコレクタ・エミッタ間に流れる電流（I_C）を制御する働きをもっていますが，I_CはI_Bのh_{FE}倍に制御されます。

このh$_{FE}$のことを＿＿＿＿＿といっています。

(4)　トランジスタのベース・エミッタ間に図のように電源V_{BE}を接続し，その電圧を0〔V〕から上昇させていったとき，ベース電流が急激に増加し始めるのは＿＿＿＿＿〔V〕程度からです。

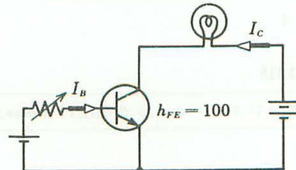


2　h_{FE}が100のトランジスタを用いて図のような回路をつくり，ベース電流I_Bの値をつぎのように変化させると，ランプに流れる電流I_Cはどのようになりますか。

I_B＝50〔μA〕⇨ I_C＝(ア)＿＿＿＿＿

I_B＝100〔μA〕⇨ I_C＝(イ)＿＿＿＿＿

I_B＝150〔μA〕⇨ I_C＝(ウ)＿＿＿＿＿

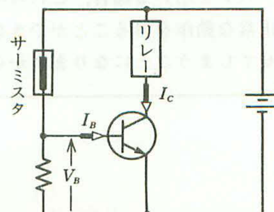


3　図は，サーミスタを用いてリレーを働かせようとした回路です。つぎの問いに答えなさい。

(1)　温度が上昇するとV_Bはどうなりますか。

(2)　I_Bが流れ始めるのはV_Bの値がおよそ何ボルトからですか。

(3)　温度が上昇するとI_Cはどうなりますか。



3. 電圧増幅

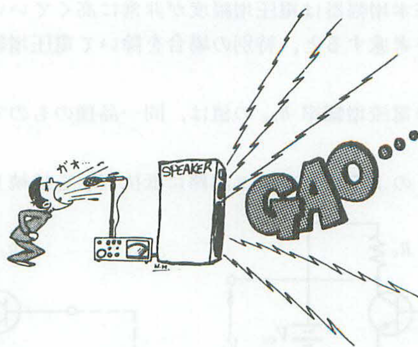
学 習 の 目 標

1．トランジスタを用いた電圧増幅器の概要を知る。

2．実際の電圧増幅器がどのようになっているのかを知り，必要な電圧増幅器をどのようにすればつくれるのかを学習する。

(1) トランジスタの特性にはバラツキがあることを知り，実際の電圧増幅器がどのようにしてこれに対処しているのか，また具体的に回路定数をどのように選んでいるのかを学習する。

(2) 任意の入力電圧レベルからの信号を増幅するにはどのようにすればよいのかを学習する。



学習の概要

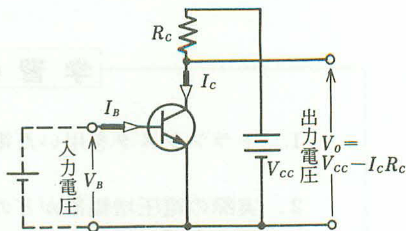
1. 電 圧 増 幅 器

(1) 電圧増幅器とは，小さな電圧変化を大きな電圧変化に増幅する働きをもつもので，図のような回路構成になっています。

(2) 増幅したい入力電圧 V_B をベース・エミッタ間に加え，出力電圧はコレクタ・エミッタ間から取り出します。

(3) 回路動作はつぎのようになります。

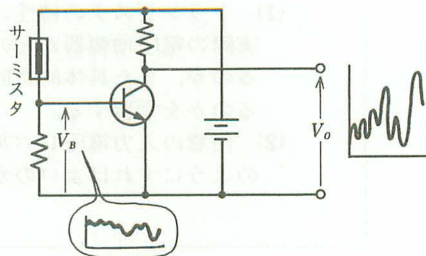
入力電圧が0.6〔V〕からすこし増加する	⇨	I_Bが急激に増加する
		⇩
R_Cによって電圧降下を起こし，V_oが減少する	⇦	I_Cが急激に増加する



(4) このような電圧増幅器は，入力電圧が上昇すると出力電圧が低下するという動作をします。

(5) 入力電圧の変化に対する出力電圧の変化を電圧増幅度といっています。

(6) 図のようにサーミスタと抵抗を接続すると，サーミスタからの検出電圧V_Bの変化分を増幅することができます。

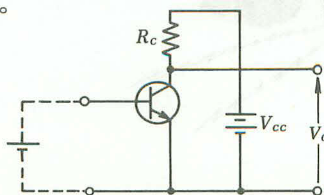


2. 電圧増幅器の基本回路

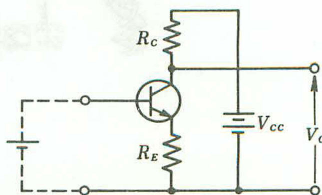
(1) 図 a のような基本増幅器は電圧増幅度が非常に高くていいのですが，トランジスタのバラツキを考慮すると，特別の場合を除いて電圧増幅器としては使用できません。

トランジスタの電流増幅率 h_{FE} の値は，同一品種のものでもかなりバラツキがあります。

一般には，図 b のようにエミッタ回路に抵抗 R_E を接続したものを使用しています。



(図 a)

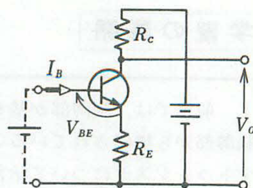


(図 b)

(2) 図cのようにエミッタ回路に抵抗を接続すると，トランジスタがつぎのような特性をもっていれば，必要な動作をほぼ正確に得ることができます。

① V_{BE}に対するI_Bの特性が$V_{BE}=0.7$〔V〕の付近で急激に立ち上がっている。

② 得ようとする電圧増幅度よりもh_{FE}の値がじゅうぶんに大きい。

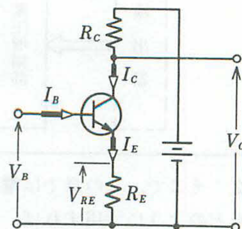


(図c)

(3) 図dのようにエミッタ回路に抵抗R_Eを接続した回路では，I_C，I_E，および電圧増幅度の値が次式のようになってh_{FE}に無関係になります。

$$\circ\ I_C \fallingdotseq I_E = \frac{V_B - 0.7}{R_E}$$

$$\circ\ 電圧増幅度 = \frac{コレクタ抵抗(R_C)}{エミッタ抵抗(R_E)}$$



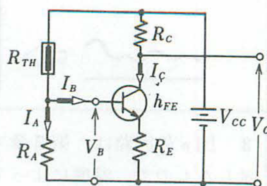
(図d)

(4) しかし，ベース電流の値は次式のようになって，h_{FE}の値によってバラつきます。

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}}$$

(5) 図eのようにサーミスタからの検出電圧V_Bを増幅するような回路では，I_Bのバラツキによって入力電圧V_Bが変化しないように，I_Bの値に対してI_Aの値をじゅうぶん大きくとっておく必要があります。

一般には，I_Bに対してI_Aの値を10倍程度にしています。



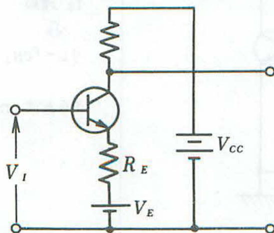
(図e)

3．任意の入力電圧レベルからの電圧増幅器

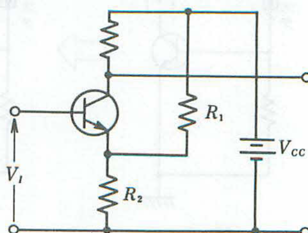
図aのようにエミッタ回路に電源V_Eを接続すると，入力電圧V_Iが$V_I=V_E+0.7$〔V〕以上のレベルからトランジスタが動作し，増幅するようになります。

(1) $V_E=2$〔V〕の場合は入力電圧レベルが2.7〔V〕から増幅します。

(2) 一般には図bのように抵抗R_1，R_2を用いてR_EやV_Eを得ています。



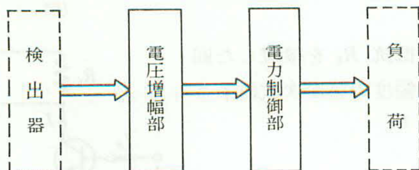
(図a)



(図b)

学習の展開

1　前章では，制御部が基本的に，つぎのように電圧増幅部，電力制御部から構成されていることを学習し，その中心的な役割を果たすトランジスタについて学習してきました。



「電流制御機能
電圧制御機能
覚えていますね.」

ハイ ハイ
準備 OK

2　そこで，この章では**電圧増幅部**について学習し，トランジスタをどのように活用すれば，このような働きをさせることができるのかということをしらべていきましょう。

電力制御部については，次章で学習します。

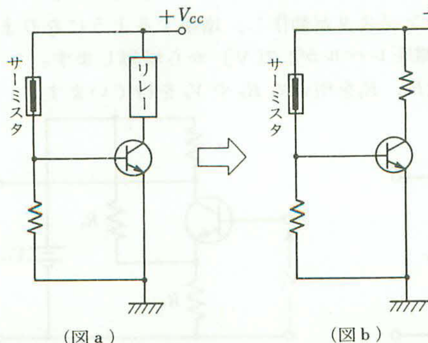


「この章から少し
ピッチを上げていきます
から. 頑張って下さいよ」

お手柔らかに

3　図 a の回路は，第 2 章でトランジスタの応用回路の一例として示したもので，温度によってリレーを働かせようとする回路です。

この回路で，リレーのところを図 b のように抵抗に置きかえたときの動作をみてみましょう。



（図 a）　（図 b）

エーット
V_{BE} 増加
⇩
I_B 増加
⇩
I_C 増加
⇩
リレー「ON」ということかな

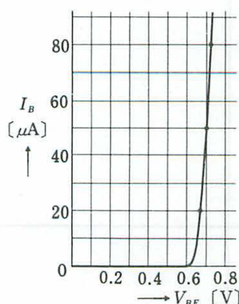
「それだけ わかれば十分」

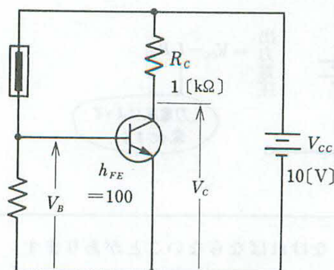
4 図のような特性をもつトランジスタを使用した場合，電圧 V_B が温度変化によって0.675〔V〕から0.725〔V〕に変化したときのコレクタ電圧 V_C の値を求めてみてください。

V_C の値は，電源電圧 V_{CC} から抵抗 R_C による電圧降下 $I_C R_C$ を引いたものになります。

V_B＝0.675〔V〕⇨ I_B＝(ア)＿＿ ⇨ I_C＝(イ)＿＿ ⇨ V_C＝(ウ)＿＿

V_B＝0.725〔V〕⇨ I_B＝(エ)＿＿ ⇨ I_C＝(オ)＿＿ ⇨ V_C＝(カ)＿＿





「順序よく考えることが大切ですよ……」

(ア) 20〔μA〕
(イ) 2〔mA〕
(ウ) 8〔V〕
(エ) 80〔μA〕
(オ) 8〔mA〕
(カ) 2〔V〕

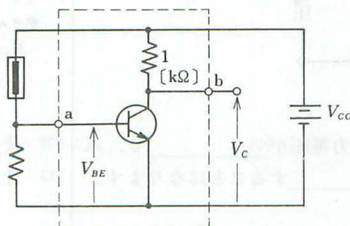
5 V_Cの値はどのようになりましたか。

温度が上昇して V_{BE}の値が0.675〔V〕から0.725〔V〕に，0.05〔V〕だけ変化すると，V_C の値は(ア)＿＿＿〔V〕から(イ)＿＿＿〔V〕に，(ウ)＿＿＿〔V〕も変化するようになりましたね。

すなわち，点aの端子を入力端子とし，点bの端子を出力端子とすると，入力電圧の 0.05〔V〕の電圧変化に対して，その120倍の(エ)＿＿＿〔V〕もの大きな出力電圧の変化を得ることができたということになります。

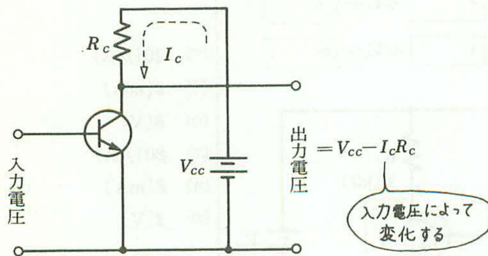
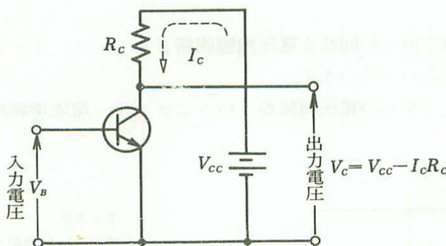
このようなことから，図中の破線で示した回路を**電圧増幅回路**といい，この変化の倍率を**電圧増幅度**といっています。

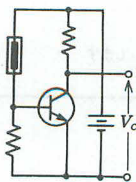
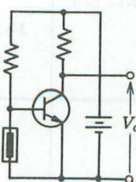
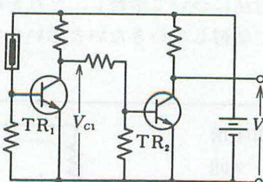
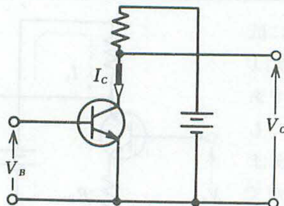
いまの場合は，120倍の(オ)＿＿＿をもつ電圧増幅器ということになります。



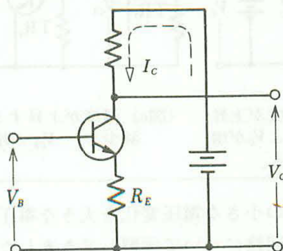
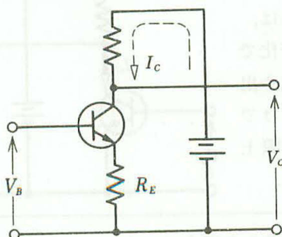
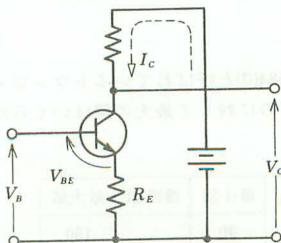
(ア) 8 (イ) 2
(ウ) 6
(エ) 6
(オ) 電圧増幅度

ナルホド
コレクタに抵抗を
入れればいいわけか
簡単だなあ

6　すなわち，電圧増幅器は第2章で学習したトランジスタのコレクタ電流の変化を，抵抗を接続することによって電圧の変化として取り出しているだけのことです。 その基本は，入力電圧の変化によってコレクタ電流I_Cが変化するところにあるわけです。  	フン フン トランジスタの 電圧制御機能 だナ
7　しかし，ここで注意しなければならないことがあります。 それは，入力電圧（V_B）が上昇したり下降したりした場合に，出力電圧（V_C）がどのように変化するかということです。 (1)　V_Bが上昇する ⇨ I_B, I_Cが増加する ⇨ R_Cの電圧降下が大きくなる ⇨ V_Cが(ア)＿＿＿＿する。 (2)　V_Bが下降する ⇨ I_B, I_Cが減少する ⇨ R_Cの電圧降下が小さくなる ⇨ V_Cが(イ)＿＿＿＿する。  すなわち，入力電圧が上昇すると出力電圧が(ウ)＿＿＿＿し，入力電圧が下降すると出力電圧が(エ)＿＿＿＿することになります。	(ア)　減少 (イ)　上昇 なるほど 入力電圧と出力電圧の変化は 逆になるわけだ. 「そう 電圧の方向が 逆になるんだヨ」 (ウ)　下降（減少） (エ)　上昇

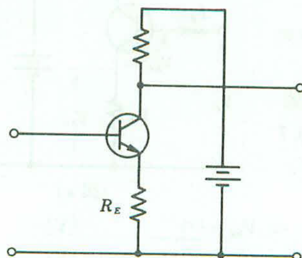
8 トランジスタを用いた電圧増幅器では，このように入力の電圧と出力の電圧とは，変化の方向が逆になります。 したがって，図aのようにサーミスタを接続して，その検出電圧を増幅すると，温度の上昇とともに出力電圧が低下するわけです。 このような変化のしかたではこまる場合には，図bのようにサーミスタをベース・エミッタ間に入れたり，または図cのようにトランジスタTR_1で増幅されてきた出力（V_{C1}）を，もう一度トランジスタTR_2で増幅するなどといった方法が用いられています。  （図a）温度が上昇するとV_Cが減少する。  （図b）温度が上昇するとV_Cが増加する。  （図c）温度が上昇するとV_{C1}が減少し，V_{C2}が増加する。	「回路の動作はわかるかナ」 V_{BE}⇨I_B⇨I_C⇨V_Cと追っていけばいいわけでしょう 「そうですョ」
9 いままで，検出器からの小さな電圧変化を大きな電圧変化に増幅するためのトランジスタ回路について学習してきました。 しかし，図のような回路は，入力電圧V_{BE}のわずかな変化で非常に大きなコレクタ電流や出力電圧の変化が得られるわけですが，このような回路は実際上ではすこし問題があります。 	ホー どんなことかな 「次のフレームへどうぞ」
10 これまで回路の動作を考える場合は，トランジスタのh_{FE}が一定であるとして取り扱ってきました。 しかし，トランジスタのような半導体素子の特性は，実は非常にバラツキが激しいのです。 つぎに示すh_{FE}は2SC1684(0)と呼ばれているトランジスタの値ですが，最小の値が90であるのに対して最大の値はいくらになっていますか。	150 フェー！ 同じ品番なのに，こんなに差があるんですか

2SC1684(0) の h_{FE}	最小値	標準値	最大値
	90		150

11　トランジスタを使用する場合は，このようなバラツキを前提として考えておかなければなりません。 これを無視して使用した場合は，たとえ回路を組んでも必要とするコレクタ電流(I_C)や出力電圧(V_C)を得ることはできません。	h_{FE}がバラバラじゃやりにくいナアー 「技術があれば大丈夫さ」
12　そこで実際には，このようなバラツキがあっても実質的に影響がないようなくふうをしています。 この章では，このような方法について学習し，それを基本にして実際的な電圧増幅器について学習していきたいと思います。	ようしくお願いします
13　トランジスタを用いた電圧増幅器では，図のようにエミッタ回路に抵抗R_Eを接続することによって，安定したコレクタ電流(I_C)や出力電圧(V_C)を得るようにしています。 	「R_Eはなかなか効果がありますョ」
14　このようにエミッタ回路に抵抗を入れると，h_{FE}がある程度以上の値をもったトランジスタであれば，たとえh_{FE}が90であっても150であっても，I_CやV_Cはほぼ安定した値で動作させることができるようになります。 	「V_Bが同じならI_CやV_Cが同じ値になるんですョ」
15　つまり，図のようにR_Eを入れると，I_Cの値はほぼつぎのように表されるようになって，h_{FE}の値には無関係になります。 $$I_C=\frac{V_B-V_{BE}}{R_E}$$ 	フーン なぜだろう？ 「次のフレームへどうぞ」

16　では，なぜエミッタ回路に抵抗 R_E を接続すると，このような動作をするのでしょうか。

その動作をみていきましょう。



ウン
これは はっきり
せにゃ ならん

「その意気
その意気」

17　図bのようにエミッタ回路に抵抗R_Eを接続して，電圧V_Bの値を大きくしていくと，図aの $V_{BE}-I_B$ 特性でわかるように，V_B の値がほぼ 0.6〔V〕までの場合はベース電流が流れませんから，I_Cも流れず，I_Eも流れません。

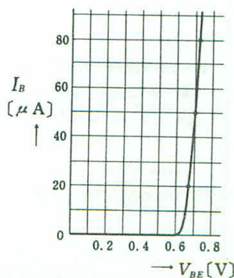
したがって，R_Eによる電圧降下も(ア)＿＿＿＿〔V〕となります。　(ア)　0

次に，V_Bの値が 0.6〔V〕を越えると，I_Bがすこしずつ流れ始めます。

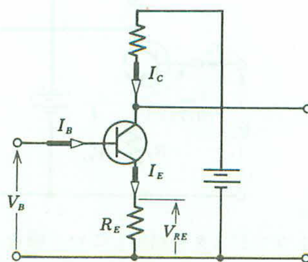
I_Bが流れると，その h_{FE} 倍のI_Cが流れますが，エミッタにはこのI_BとI_Cの両方が流れますから，R_Eの両端にはつぎのような電圧降下V_{RE}が生じます。

$$V_{RE}= \boxed{(イ)\quad} \times R_E=(I_B+I_C)R_E$$

(イ)　I_E



(図 a)

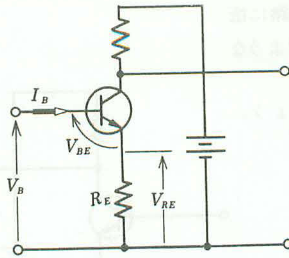


(図 b)

18　では，この V_{RE} の値は入力電圧 V_B とどのような関係にあるでしょうか。

　まず，図bのトランジスタの $V_{BE}-I_B$ 特性をみてください。

　V_{BE} の値はベース電流 I_B の値にほとんど関係なく，ほぼ 0.7〔V〕近くの値になっています。



（図 a）

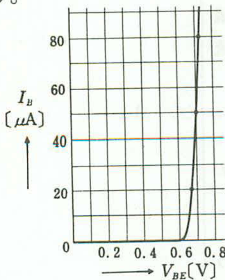
$I_B=20$〔μA〕のとき ⇨ V_{BE} ≒(ア)＿＿＿＿＿〔V〕

$I_B=50$〔μA〕のとき ⇨ V_{BE} ≒(イ)＿＿＿＿＿〔V〕

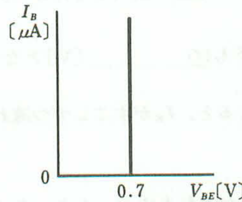
$I_B=80$〔μA〕のとき ⇨ V_{BE} ≒(ウ)＿＿＿＿＿〔V〕

(ア) 0.67
(イ) 0.7
(ウ) 0.72

　そこで，この特性を図cのような形に近似してしまうとどうでしょう。



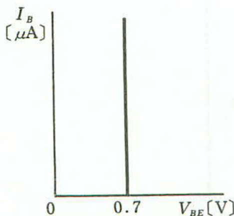
（図 b）

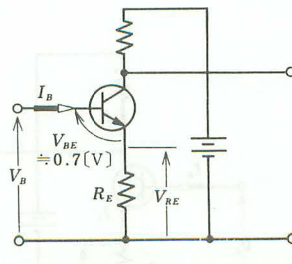


（図 c）

フン フン
I_Bが かなり変っても，
V_{BE}は ほとんど 0.7〔V〕
近辺だからなあ……
ヨシ！ 割り切って
しまおう

19　このように近似できれば，V_{BE} の値はベース電流 I_B の値にほぼ無関係に常に 0.7〔V〕ということになりますから，図の回路の抵抗 R_E における電圧降下 V_{RE} は，入力電圧 V_B から 0.7〔V〕を引いた値になると考えることができます。

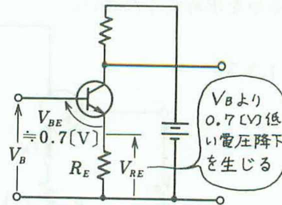
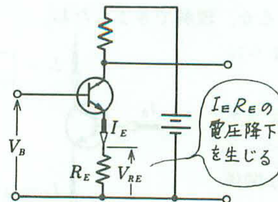
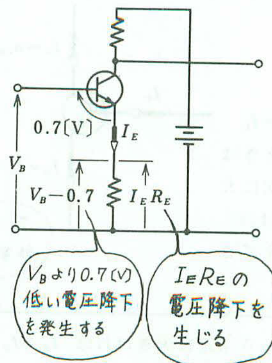


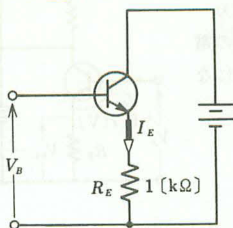
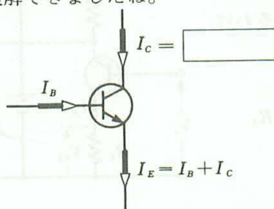
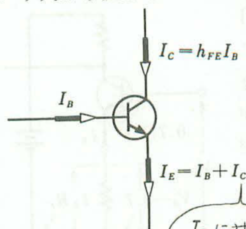
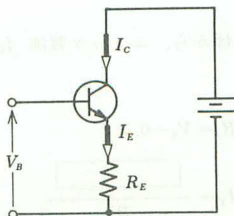


フン フン
V_{BE}での電圧降下が
常に 0.7〔V〕とすると
$V_B-0.7$ が V_{RE} だ。

「$V_{BE}=0.7$ と
いうのが ポイントダヨ」

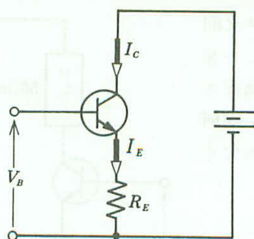
　エミッタに抵抗を入れてトランジスタを利用していく場合，実質的にはこのような近似をしてもまったく問題ありません。

20 つまり，トランジスタのエミッタ回路に抵抗R_Eを接続した場合，R_Eには入力電圧 V_B の値より ＿＿＿＿〔V〕だけ低い値の電圧降下 V_{RE} を常に生じることになります。 $V_{RE}=V_B-0.7$  	0.7 ハイ，わかりました
21 一方，この電圧降下 V_{RE} は，エミッタ電流 I_E による R_E での電圧降下によって生じているわけです。 $V_{RE}=$ ☐ $\times R_E$  	I_E フン フン これは OK
22 つまり，図のような回路の抵抗 R_E には，入力電圧から0.7〔V〕だけ低い値の電圧降下 V_{RE} を生じるようになり，また，このような大きさの電圧降下($V_{RE}=I_ER_E$) が生じるようなエミッタ電流(I_E) が流れるようになるわけです。 この関係は，エミッタ回路に抵抗が接続されている回路の動作を考える場合のポイントとなる非常に重要な関係ですから，しっかり理解しておいてください。  したがって，このような関係から，エミッタ電流 I_E はつぎのようになります。 $V_{RE}=V_B-0.7$, $V_{RE}=I_ER_E$ $\Rightarrow I_ER_E=V_B-0.7$ $\therefore\ I_E=\dfrac{☐}{R_E}$	VREは IE，RE によって生じ，そして，その大きさは VB－0.7 で定まるということだナ 「そう そこが ポイントだヨ」 $V_B-0.7$

23 それでは，図の回路に 2〔V〕の入力電圧V_Bを加えた場合，エミッタ電流I_Eがどのようになるかを求めてください。 $V_{RE}=V_B-$(ア)＿＿＿＿$=1.3$〔V〕 $V_{RE}=I_E R_E$ ⇩ $I_E=\frac{(イ)}{(ウ)}=1.3$〔mA〕 	(ア) 0.7 (イ) V_{RE} (ウ) R_E 「この関係はしっかりつかんで下さいネ」
24 エミッタ回路に抵抗を入れたとき，入力電圧 V_B に対してエミッタ電流 I_E がどのようになるか，理解できましたね。 では次に，I_Cの値がどのようになるか考えてみましょう。 すでに学んだように，エミッタ電流I_E，コレクタ電流I_C，ベース電流I_Bの間には，図のような関係がありましたね。 	$h_{FE}\,I_B$ OK，OK
25 ここで h_{FE} が 100 とか 200 という大きな値をもっているとどうなるでしょうか。 $I_E=I_B+I_C$ $=I_B+h_{FE}I_B$ $=(1+h_{FE})\,I_B \fallingdotseq h_{FE}I_B=I_C$ すなわち，h_{FE} が大きいときは I_C の値は I_B に対して非常に大きくなるので，I_E の値はほぼ＿＿＿＿と等しいと考えてさしつかえありません。 	I_C 「たとえば h_{FE}を100，I_Bを10〔μA〕とすると，I_CやI_Eはどうなるかな」 エーット $I_C=1000$〔μA〕 $I_E=1010$〔μA〕
26 つまり，h_{FE} の値がじゅうぶんに大きければ $I_E \fallingdotseq I_C$ となり，I_C の値は22フレームで求めた I_E の値とほぼ等しくなるわけです。 $I_C \fallingdotseq I_E=\frac{V_B-0.7}{R_E}$ 	ナルホド 「実質的には $I_E \fallingdotseq I_C$ と考えて，ほとんど問題ありません」

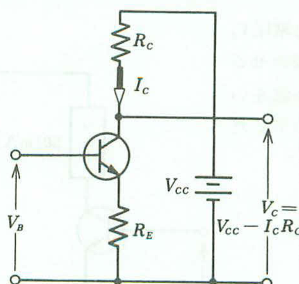
27 すなわち，h_{FE} の値がじゅうぶん大きければ，I_C の値も I_E と同じく $\frac{V_B-0.7}{R_E}$ となります。

したがって，回路の動作を考える場合に，たとえ h_{FE} の値がどのようになっていても，h_{FE} の値さえ大きければ，コレクタ電流は h_{FE} に関係なく，入力 V_B と R_E の値によって決まるため，安定した値を保つといってさしつかえないわけです。



ナルホド
こういうことだったのか

28 こうしてコレクタ電流 I_C が安定した値になれば，出力電圧 V_C は電源電圧 V_{CC} から抵抗 R_C による電圧降下__________を引いたものですから，この出力電圧 V_C も h_{FE} のバラツキによる影響を受けないことになります。



I_CR_C

フン フン
わかる わかる

29 コレクタ電流や出力電圧がどのような値になるかについては，もうじゅうぶんに理解できたと思います。

これらのことは，トランジスタ回路を取り扱ううえで非常にたいせつなことですから，しっかり身につけておいてください。

それではここで，理解を深めるために，すこし例題をやってみましょう（h_{FE}が非常に大きいとして取り扱ってください）。

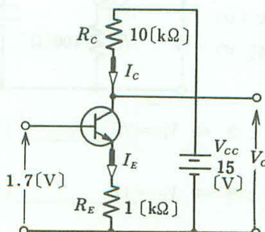
「さあ 腕だめしですョ」

30 図の回路で，入力に1.7〔V〕の電圧を加えたときのエミッタ電流 I_E，コレクタ電流 I_C，および出力電圧 V_C の値をそれぞれ求めてください。

I_E ＝(ア)__________〔mA〕

I_C ≒(イ)__________〔mA〕

V_C ＝(ウ)__________〔V〕



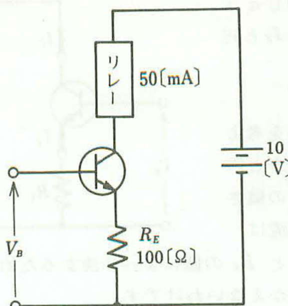
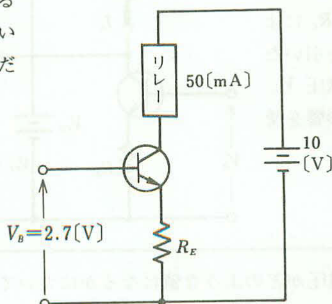
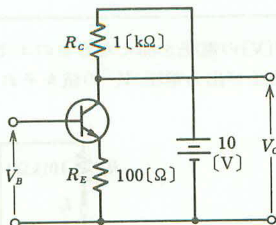
(ア) $V_{RE}=V_B-0.7=1.0$

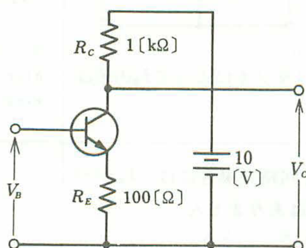
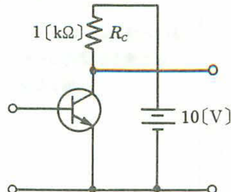
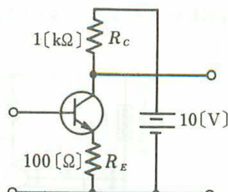
$I_E=\frac{V_{RE}}{R_E}=1$〔mA〕

(イ) $I_C \fallingdotseq I_E=1$〔mA〕

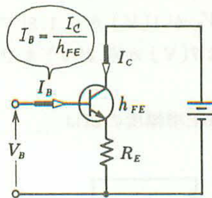
(ウ) $V_C=V_{CC}-I_CR_C$

$=5$〔V〕

31 次に，図のようにコレクタ回路に 50〔mA〕で動作するリレーを入れたとき，このリレーを動作させるためには，入力電圧 V_B が何〔V〕以上必要になるかを求めてください。 	「少し 変形型 これができれば 80点」 $I_E \fallingdotseq I_C = 50$〔mA〕 $V_{RE} = I_E R_E = 5$〔V〕 $V_B = 0.7 + V_{RE}$ $= 5.7$〔V〕
32 また，図の回路で入力電圧 V_B が2.7〔V〕のときリレーを働かせるようにするためには，R_Eの値をいくらにすればよいかを求めてください。 	「これができれば 満点です」 $I_E \fallingdotseq I_C = 50$〔mA〕 $\begin{cases} V_{RE} = V_B - 0.7 \\ V_{RE} = I_E R_E \end{cases}$ $\therefore\ I_E R_E = V_B - 0.7$ $R_E = \dfrac{V_B - 0.7}{I_E}$ $= 40$〔Ω〕
33 それでは次に，このようにエミッタ回路に抵抗 R_E が接続されている回路の電圧増幅度を求めてみましょう。 図の回路で，V_Bの値が 1〔V〕から 1.5〔V〕まで 0.5〔V〕だけ変化したときの増幅度について考えてみることにします。 まず，V_Bが 1〔V〕，1.5〔V〕のそれぞれのときの出力電圧 V_C の値を求めてください。  $V_B = 1$〔V〕のとき ⇨ V_C =(ア)＿＿＿＿〔V〕 $V_B = 1.5$〔V〕のとき ⇨ V_C =(イ)＿＿＿＿〔V〕	これなら 簡単，簡単 (ア) 7 (イ) 2

34 このように，入力電圧 V_B が1〔V〕から1.5〔V〕まで0.5〔V〕変化すると，出力電圧 V_C は7〔V〕から2〔V〕まで5〔V〕変化するようになりましたね。 したがって，この回路の電圧増幅度の値は＿＿＿＿＿＿となるわけです。  	10 ハイ ハイ 確かに
35 ところで，5フレームに出てきた図aのような回路の場合には電圧増幅度が120倍というかなり大きな値でしたが，同じトランジスタを用いても，図bのようにエミッタに抵抗を接続すると増幅度はかなり＿＿＿＿＿＿してしまいます。 しかし，トランジスタのバラツキの影響をおさえるためには，これもやむを得ません。  （図a）電圧増幅度＝120  （図b）電圧増幅度＝10 ここでは説明を省きますが，図bのようにエミッタ回路に抵抗 R_E がはいっている回路の電圧増幅度は，トランジスタの h_{FE} に無関係に $\frac{R_C}{R_E}$ となります。	低下（減少） 「この基本的な考え方は第10章で学習します。あとのおたのしみ」
36 いままでの学習で，エミッタ回路に抵抗がはいったときの動作については理解できたと思います。 実際の電圧増幅器にも，このようにエミッタ回路に抵抗を入れたものが使われています。 ところで，このようにエミッタ回路に抵抗 R_E を接続した増幅回路の場合，もう一つ問題が残ります。 それは，ベース電流によって生じる問題です。	ここまでできていますヨ 休けい地点

37 すでに学んだように，図のような回路では，I_Eの値はトランジスタの h_{FE} のバラツキに関係がなく，つぎのようになりました。



$$I_C \fallingdotseq I_E = \frac{V_B - 0.7}{R_E}$$

ところで，I_Bについてはどうでしょうか。

I_Bの値はI_Cの $1/h_{FE}$ ですから，h_{FE} のバラツキによってI_Bの値は直接影響を受けます。

「I_Cを1[mA]とすると，h_{FE}が100，または200のとき，I_Bがどのようになるかな」

エーット
h_{FE}が100 ⇒ I_B=10[μA]
h_{FE}が200 ⇒ I_B= 5[μA]

38 いままで取り扱ってきた図aのような回路の場合には，I_Bがバラついても V_B が変化しませんから，問題はありません。

しかし，図bのような回路の場合はどうでしょうか。

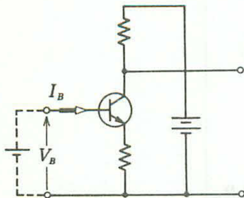
図bの場合，I_B が流れるということは，R_A を流れていた電流I_Aの一部がトランジスタ側にも流れるようになるということですから，その結果，R_Aに流れる電流 I_A が減少するため，R_Aでの電圧降下が減少して V_Bの値が__________します。

低下（減少）

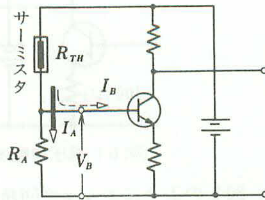
つまり，V_Bの値がI_Bの値に左右されてしまうことになりますから，もしも I_B の値が h_{FE} の影響でバラついてしまうと，V_B がどのような値になるかわからなくなってしまいます。

ということは，入力電圧V_B自体がトランジスタの h_{FE} によってバラついてしまうことになります。

h_{FE}の値によって入力電圧が変化しちゃ困るなあ

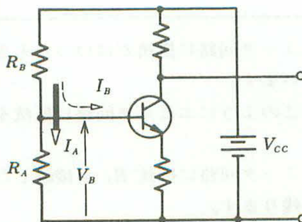


（図a）



（図b）

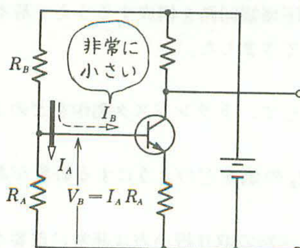
39 そこで，I_Bが流れると入力電圧 V_B が変化する図のような回路では，たとえI_Bがバラついても入力電圧 V_B が影響を受けないようにする必要があります。



I_Aの値を大きくとればいいのですね
なぜかな

「次のフレームへ どうぞ」

40　図でわかるように，I_AがI_Bに対してじゅうぶん大きければ，たとえI_Bがバラついても，I_Aへの影響が非常に少なく，V_Bにはほとんど影響を与えなくなります。

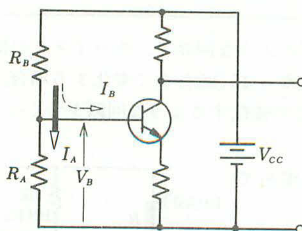


フン フン
I_Bの値を実質的には，
0と考えられるように
するわけだ．

「オーッ！ スゴイネ」

41　このように$I_A \gg I_B$の関係が成り立っていれば，入力電圧 V_B の値は I_B の値を無視して，つぎのように抵抗分割比だけで簡単に求めることができるようになります。

$$V_B = \frac{R_A}{R_A + R_B} V_{CC}$$



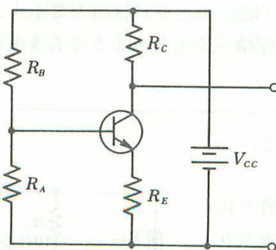
なるほど
I_Bを0として
考えればいいんだからなあ

42　$I_A \gg I_B$の関係は，回路定数の関係からいえば，R_A と R_B の並列合成抵抗に対して，$R_E(1 + h_{FEmin})$ の値が非常に大きいという条件を満たすことで得ることができます。

一般に，この比率は1：10程度以上に定めるようにしています。(h_{FEmin} とは h_{FE}のバラツキの最小値という意味です)

$$\frac{R_A \cdot R_B}{R_A + R_B} \ll R_E(1 + h_{FEmin})$$

1　：　10



これらの関係は，電圧増幅にしろ，のちに学習する電力増幅にしろ，とにかくトランジスタを増幅器として使用する場合，常に心がけなければならないことです。

したがって，しっかり頭に入れておいてください。

なぜ こうなるのか
チョット 気になるなあー

でも まあ $I_A \gg I_B$の関係
を得るには，
こうすれば良いと
覚えておこう

43 いままでの学習で，電圧増幅回路を構成するうえで基本となるつぎのことについて学習してきました。

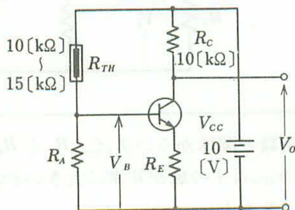
(1) h_{FE}のバラツキに対して，トランジスタ動作をどのように安定にさせるか。
(2) 回路定数に応じて R_E の値をどのようにする必要があるか。

このようなトランジスタ回路の取り扱い方は非常に重要なことですから，しっかり把握しておいてください。
それでは，いままでの復習をかねて，例題をやってみましょう。

さあ　腕だめしですぞ

44 サーミスタを用いた図のような回路で，サーミスタの抵抗値が温度変化によって 10〔kΩ〕から 15〔kΩ〕まで変化する場合，出力電圧V_oが 2〔V〕から 10〔V〕まで変化するような回路をつくってみたいと思います。

図の抵抗 R_A，R_Eの値を求めてみてください。



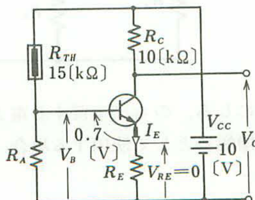
「これが　できたら
100点ですョ」

ヨーシ　やってみるか

「ちょっと　苦しい人は
次のフレームを」

〈考え方〉
①サーミスタの抵抗値が 15〔kΩ〕のときには出力電圧V_oが10〔V〕ですから，この状態ではR_Cでの電圧降下を 0 にする必要があります。
すなわち，この状態でV_Bの値を0.7〔V〕にして R_E での電圧降下を 0 にし，I_E を 0 とすればいいのです。
②サーミスタの抵抗値が10〔kΩ〕のときには出力電圧 V_o が 2〔V〕ですから，R_Cで 8〔V〕の電圧降下を生じるようなI_Cを流せばいいわけです。

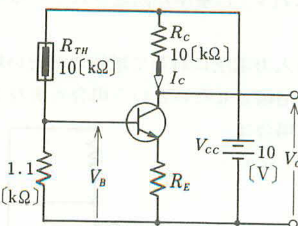
45 では，順序立てて考えていきましょう。
まず，サーミスタの抵抗値が15〔kΩ〕のときにコレクタ電流を 0 にするのですから，V_Bの値を 0.7〔V〕にすればいいことになります。
では，R_{TH}＝15〔kΩ〕のときに V_B＝0.7〔V〕にするには，R_A の値をいくらにすればいいかを求めてください。



$$V_B=\frac{R_A}{R_A+R_{TH}}V_{CC}$$
$$V_BR_A+V_BR_{TH}=R_AV_{CC}$$
$$R_A(V_{CC}-V_B)=V_BR_{TH}$$
$$R_A=\frac{V_BR_{TH}}{V_{CC}-V_B}$$
$$=1.1〔kΩ〕$$

46 次に，温度が上昇してサーミスタの抵抗値が 10〔kΩ〕に変化したとき，出力電圧 V_o を 2〔V〕にするのですから，この状態では I_C の値をいくらにすればいいかを求めてください。

また，この状態ではサーミスタの抵抗値が 10〔kΩ〕になっていますから，V_B の値はいくらになっているかを求めてください。



I_C……………

$V_{CC}-R_C I_C=2$

$$I_C=\frac{V_{CC}-2}{R_C}$$

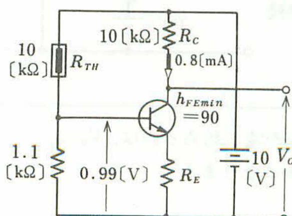
$=0.8$〔mA〕

V_B……………

$$V_B=\frac{R_A}{R_{TH}+R_A}V_{CC}$$

$=0.99$〔V〕

47 では，$V_B=0.99$〔V〕の状態で $I_C=0.8$〔mA〕にするためには，R_E の値がいくらであればよいかを求めてください。

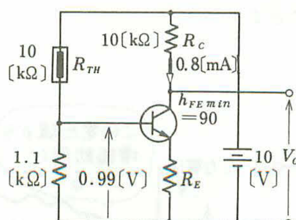


$$I_C \fallingdotseq I_E=\frac{V_B-0.7}{R_E}$$

$$R_E=\frac{V_B-0.7}{I_C}\fallingdotseq 360〔Ω〕$$

48 また，つぎの関係が成立しているかどうかを確かめてください。

$$\frac{R_A R_B}{R_A+R_B}\ll R_E(1+h_{FEmin})$$



$$\underbrace{\frac{R_A R_B}{R_A+R_B}}_{0.99〔kΩ〕}\ll \underbrace{R_E(1+h_{FEmin})}_{32〔kΩ〕}$$

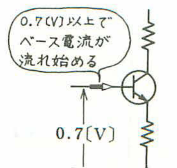
もし ダメだったら どうするの

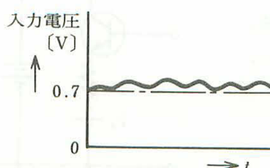
「第4章 で取り扱います」

49 これまでの学習で，トランジスタの h_{FE} がバラついても，定められた動作を正確に行わせるにはどうすればよいかということについて考えてきました。

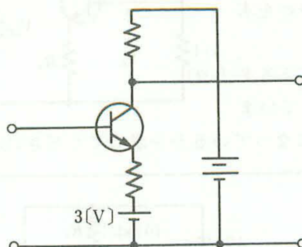
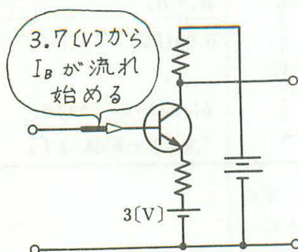
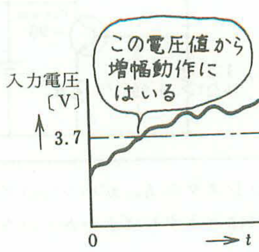
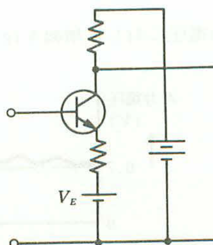
ところで，いままで考えてきたトランジスタ動作は，入力電圧が常に 0.7〔V〕以上になるとベース電流が流れ始め，増幅動作にはいるようになっていました。

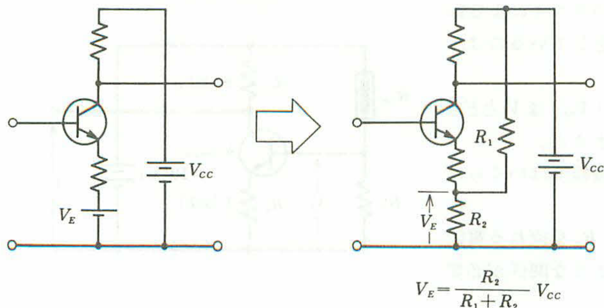
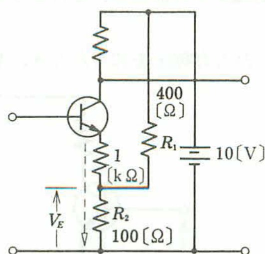
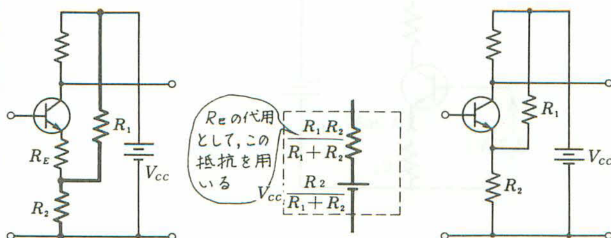
つまり，0.7〔V〕以上の入力電圧に対して増幅を行っていたわけです。





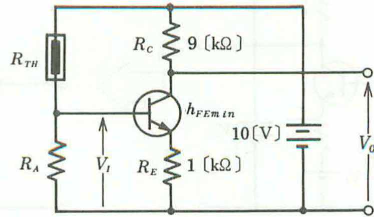
「あと 少しですヨ
もう ひとふんばり」

50　しかし，このように0.7〔V〕に基準が固定されていると不便な場合も考えられます。 たとえば，2〔V〕以上の入力電圧に対して増幅させたい場合もありますし，3〔V〕以上から増幅させたいという場合もあります。 では最後に，このような場合はどうすればよいのかを学習していきましょう。  図のようにエミッタ回路に電源を接続してみるとどうでしょう。 たとえば，3〔V〕の電源を接続してみましょう。	どのようなところで使うんですか 「4章，5章ではこの応用がでてきますよ」
51　こうすれば，ベースに電流が流れ始めるのは，V_Bに＿＿＿＿〔V〕以上の電圧が加わったときになります。 つまり，この回路は3.7〔V〕以上の電圧に対してベース電流を流し，増幅動作にはいるということです。  （図 a）  （図 b）	3.7 フン フン ベース・エミッタ間の電圧 V_{BE}は 0.7〔V〕だからなあ 「そういうこと」
52　このような方法を用いると，増幅させたい入力電圧の値を自由に設定できるようになります。 こうした方法は，実際の回路にしばしば用いられていますから，この考え方はじゅうぶん理解しておいてください。  	ハイ，よくわかりました．

53 ところで，別電源をこのようなところで使うのは実際にはめんどうですから，一般には図のように抵抗R_1，R_2を用いて電源電圧を分圧する方法などが用いられています。  $V_E=\dfrac{R_2}{R_1+R_2}V_{CC}$	ナルホド ナルホド
54 図の回路は，R_1=400〔Ω〕，R_2=100〔Ω〕の抵抗を使用していますから，V_E=＿＿＿＿〔V〕となり，2.7〔V〕以上の入力電圧に対して増幅するようになります。  	2
55 ところで，図aのR_1とR_2による分圧回路が，図bのような等価回路で示されますから，この等価回路中の抵抗を，いままでのR_Eの代用として使用し，図cのような形にして使用する場合もあります。  （図a）　（図b）　（図c）	「どうも ご苦労さんでした」

練 習 問 題

1 図の回路は，サーミスタで温度を検出し，その検出電圧を増幅しようとする回路です。



(1) トランジスタのバラツキによる影響をおさえる働きをしているのは，どの部品ですか。

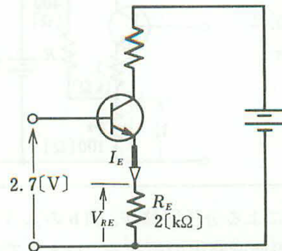
(2) R_Eでの電圧降下（V_{RE}）はV_Iとどのような関係がありますか。

(3) この回路の電圧増幅度はいくらになりますか。

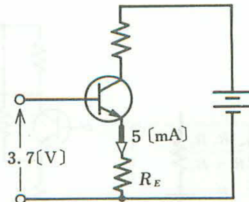
(4) ベース電流I_BとR_Aを流れる電流I_Aとの間にはどのような関係が必要ですか。

(5) R_EとR_{TH}，R_A，h_{FEmin}との間には，どのような関係が必要ですか。

2 図の回路で2.7〔V〕の入力電圧を加えたとき，V_{RE}，I_Eの値はいくらになりますか。



3 図の回路で入力電圧が3.7〔V〕のときI_E＝5〔mA〕にするには，R_Eの値をいくらにする必要がありますか。

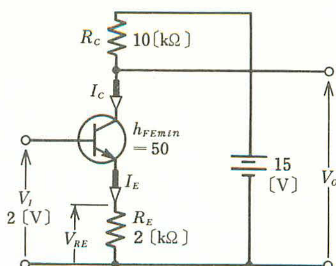


4　図の回路について，つぎの問いに答えなさい。

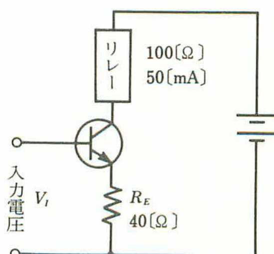
(1)　$V_I=2$〔V〕のとき V_{RE}，I_E，I_C はいくらになりますか。

(2)　V_I が1.7〔V〕から2.2〔V〕に変化したとき，出力電圧 V_O の値はどのようになりますか。

(3)　この回路の電圧増幅度（A）はいくらになりますか。

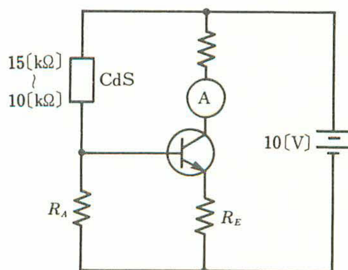


5　図の回路で，リレーを動作させるためには何〔V〕の入力電圧が必要ですか。

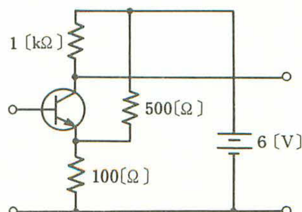


6　図は，CdSを用いて光の強さを検出し，それに応じて電流計をふらせようとした回路です。

CdS の抵抗値が15〔kΩ〕のときには電流計のふれがほぼ0となり，抵抗値が減少して10〔kΩ〕になったときに5〔mA〕を示すようにするには抵抗 R_A,R_E をいくらにすればいいか求めなさい。



7　図の回路では，入力電圧 V_I が何〔V〕以上になればコレクタ電流が流れるようになりますか。



4. 電 力 制 御

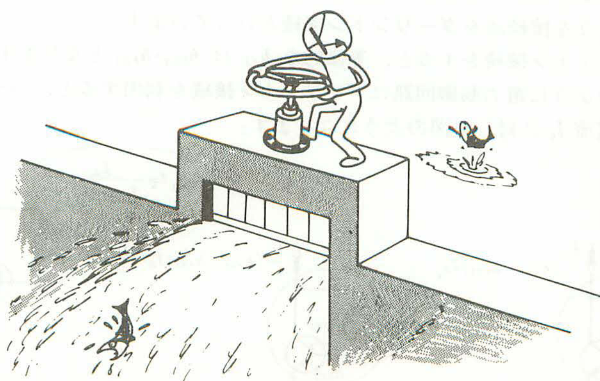
学 習 の 目 標

1．電力制御部の必要性を知り，その基本回路がどのような構成になっているのかを学習する。

2．電力制御回路の各回路定数をどのように設定しなければならないのかを学習する。

3．モータを駆動する場合などで，回転速度だけでなく，回転方向も制御できる方法を学習する。

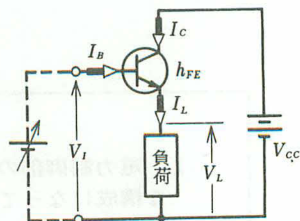
4．電力制御回路を構成するうえで注意しなければならないことについて学習する。



学習の概要

1. 電 力 制 御

入力電圧からはほとんど電流を取り出さずに，入力電圧の大きさに応じて負荷に加わる電力を制御するための回路を**電力制御回路**といっています。



(1) 図のようにトランジスタのエミッタ回路に負荷を接続すると，入力電圧に応じて電源 V_{CC} から負荷に加わる電力を制御することができるようになります。

① 入力電圧 V_I によって負荷に加わる電圧 V_L が制御され，負荷に加わる電力 $\left(\frac{V_L^2}{R_L}\right)$ が制御されます。

② 負荷に流れる電流のほとんどは V_{CC} から供給されており，入力電圧 V_I からの電流 (I_B) はほとんど必要としません。

(2) 図の電力制御回路では，入力電圧 V_I から取り出される電流はおよそ I_L / h_{FE} となります。

この電流さえも問題になる場合は，トランジスタの h_{FE} の値をさらに大きくする必要があります。

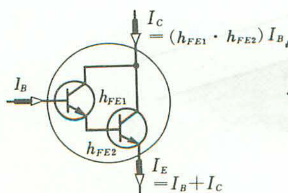
2. ダーリントン接続

(1) 図aや図bのように二つのトランジスタを接続すると，等価的に非常に大きな h_{FE} をもつ一つのトランジスタとして動作します。

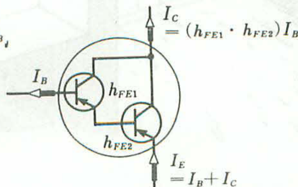
このような接続法をダーリントン接続といっています。

ダーリントン接続をすると，等価的な h_{FE} は $h_{FE1} \cdot h_{FE2}$ となります。

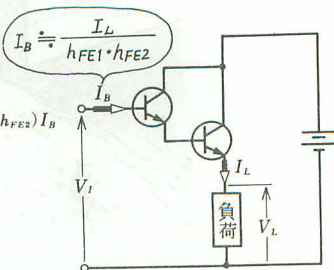
(2) 図cのように電力制御回路にダーリントン接続を利用すると，ベース電流 I_B は負荷電流 I_L に対して図のようになります。



(図a)



(図b)



(図c)

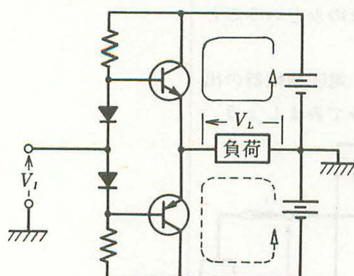
3. 電力制御回路の応用

(1) 図aのようにNPNトランジスタとPNPトランジスタを上下対称に組み合わせた回路では，入力電圧によって負荷に加わる電力を制御するだけでなく，負荷に流れる電流の方向をも変えることができます。

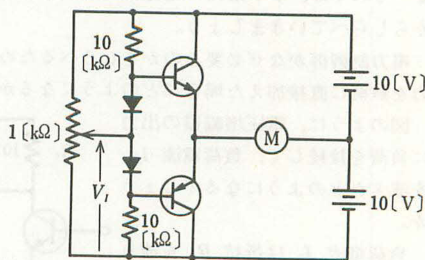
① 入力電圧(V_I)を正方向に増加させると，NPNトランジスタが動作して実線の電流が流れます。

② また，入力電圧を負方向に増加させると，PNPトランジスタが動作して破線の電流が流れます。

(2) 図bの回路では，可変抵抗の位置を変化させることによって，モータの回転速度や回転方向が制御できるようになります。



(図a)

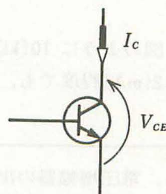


(図b)

4. トランジスタにおける消費電力

(1) トランジスタには，コレクタ電流 I_C とコレクタ・エミッタ間電圧 V_{CE} によるつぎのような電力の消費があります。

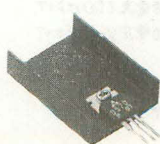
この消費電力のことをコレクタ損失 P_C といっています。

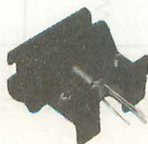


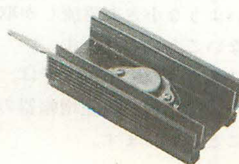
$$P_C = I_C \times V_{CE}$$

(2) コレクタ損失は熱となってトランジスタの温度を上昇させるため，その取り扱いには注意が必要です。

(3) トランジスタのコレクタ損失が大きくなる場合は，図のように放熱板をつけて用います。



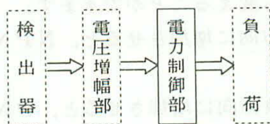




学習の展開

1　前章では，トランジスタを用いた電圧増幅部について学習してきました。

この章では，電圧増幅された大きな信号で負荷を制御する働きをもつ**電力制御部**について，学習を進めていきましょう。



「この学習が終ると，電子制御の基本は一応 終了です」

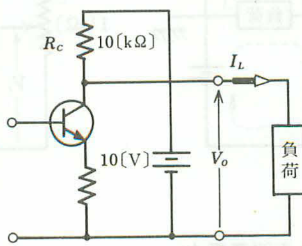
ヨシ がんばろう

2　それでは，まず最初に電力制御部がなぜ必要なのかということからしらべていきましょう。

電力制御部がなぜ必要なのかをしらべるために，電圧増幅器の出力を負荷に直接加えた場合にどのようになるかをみてみましょう。

図のように，電圧増幅器の出力に負荷を接続して，負荷電流 I_L を流すとどのようになるでしょうか。

負荷電流 I_L は抵抗 R_C を流れるわけですから，出力電圧 V_o の値は，$I_L R_C$ の電圧降下によって________してしまいます。



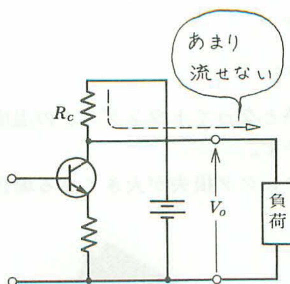
たとえば，図のように 10〔kΩ〕の抵抗が接続されていると，負荷電流 I_L が0.2〔mA〕程度でも，出力電圧の値は 2〔V〕も低下してしまいます。

低下

フン フン
0.2〔mA〕× 10〔KΩ〕= 2V
だから，1mA 流れると
V_o = 0v になって
しまうなあー

3　すなわち，電圧増幅器の出力に負荷を直接接続して負荷電流を流すと，出力電圧が________し，正常な電圧増幅度が得られなくなってしまうわけです。

いいかえれば，電圧増幅器の出力からは，出力電圧に影響を与えないような小さな電流しか取り出せないことになります。

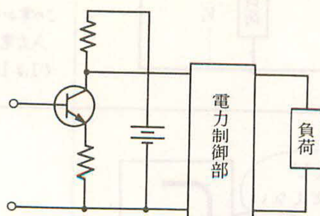
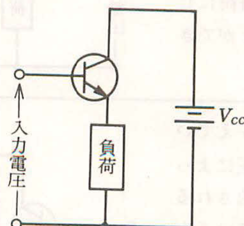
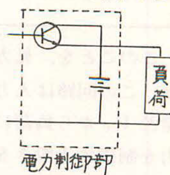
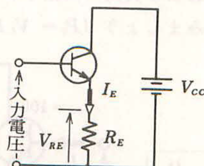


このような微小電流では，一般に負荷を駆動することはできませんから，結局，電圧増幅器の出力を負荷に直接加えることはできないことになります。

低下

フン フン
負荷電流（Ic）によって，
出力電圧 V_o が 下がって
しまうわけだ

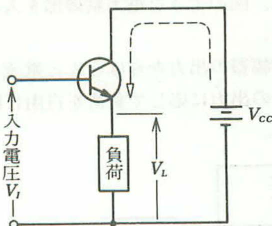
「そういうこと」

4　そこで，大きな電流を必要とする負荷を駆動したい場合には，電圧増幅器と負荷との間に，図のような電力制御部を入れ，負荷を駆動するようにしています。 電力制御部とは，電圧増幅器の出力からほとんど電流を取り出さずに，そして，電圧増幅器の出力に応じて負荷を自由に駆動できるようにするためのものです。  	「電力制御部の必要性がわかったかナ」 OK, OK.
5　では，電力制御部について，具体的に学習していきましょう。 図は，電力制御部の基本回路を示しています。 このような回路を電圧増幅器の出力に接続しておくと，電圧増幅器からの出力電圧によってうまく負荷を駆動できるようになります。 では，その理由をしらべてみましょう。  	アレッ　フレーム4とチョット スタイルが違うで 「次のように書きなおすとどうかな」 
6　まず，図のようにエミッタ回路のところに抵抗 R_E を接続したとき，R_E にはどのような電圧がかかり，どのような電流が流れたかを，もう一度思い出してください。 (1)　V_{RE} の値は，常にベースに加えた電圧から(ア)______〔V〕引いた値になりましたね。 (2)　また，この V_{RE} を生じるための電流 I_E は，h_{FE} が大きければほとんど(イ)______によって構成されていました。 つまり図のような回路では，R_E にかかる電圧は入力電圧によって決まり，また R_E に流れる電流は電源 V_{CC} から供給できるわけです。  	(ア)　0.7 (イ)　I_C 「ポイントは最後の5行ですヨ」

7　では，エミッタに負荷を接続したときはどうでしょうか。

この場合も同じことで，負荷にかかる電圧 V_L は常に入力電圧 V_I から(ア)＿＿＿＿〔V〕低い値に制御されます。

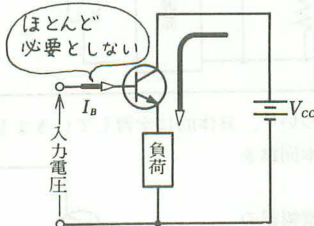
また，実際に負荷に流れる電流のほとんどは，電源(イ)＿＿＿＿から供給されることになります。



(ア)　0.7
(イ)　V_{CC}

この章からは
入力電圧をV_Iとします
（IはINPUTのIです）

8　このようにトランジスタのエミッタに負荷を直接接続して入力電圧を変化させると，入力電圧からの電流はほとんど必要とせずに負荷にかかる電圧を自由に制御でき，しかも電源 V_{CC} から負荷にじゅうぶんな電流を流すことができるようになるわけです。

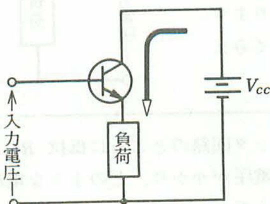


ナールホド
I_Bは他人のフンドシ(I_C)
で勝負しているわけか

「チョット　不潔だネェ」

9　このことを，見方をかえていえば，この回路は入力電圧によって電源 V_{CC} から負荷に供給される電力を制御する働きをしていると考えることができます。

このようなことから，この回路のことを電力制御回路といっているわけです。

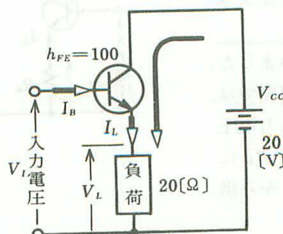


ウーム

「具体的には
次のフレームで……」

10　では，具体的に図の回路で入力電圧 V_I をつぎのように変化したときの I_B, V_L, I_L の値，および負荷に供給される電力 P_0 の値を求めて，このようすをみてみましょう（$P_0=V_L I_L$）。

V_I	I_B	V_L	I_L	P_0
2.7〔V〕				
10.7〔V〕				
18.7〔V〕				



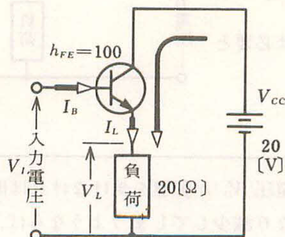
ヒント：
1. 求め方は $V_L \to I_L \to I_B \to P_0$ とするのがいいですよ
2. P_0は $V_L I_L$ になりますよ

答えは次のフレーム

11　どのようになりましたか。

入力電圧からはほとんど電流をとらずに，入力電圧によって負荷に加える電力がうまく制御されていますね。

V_I	I_B	V_L	I_L	P_0
2.7〔V〕	1〔mA〕	2〔V〕	0.1〔A〕	0.2〔W〕
10.7〔V〕	5〔mA〕	10〔V〕	0.5〔A〕	5　〔W〕
18.7〔V〕	9〔mA〕	18〔V〕	0.9〔A〕	16.2〔W〕



（この場合，V_{CC} からはほぼ負荷電流に近い大きさの電流を取り出すことになりますから，それだけの電流を流すことのできる電源が必要になります。）

でも
数〔mA〕の I_B が流れますよ

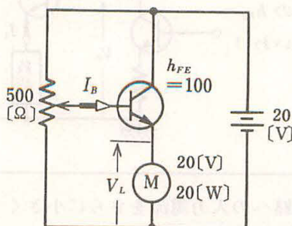
「しかし I_L よりは
かなり少ないでしょ」

でも この電流が問題に
なるときは どうするんですか

「なかなか
追求がきびしいね．
この件については．もう
少し．後で取扱います」

12　図の回路は，可変抵抗を用いてモータに加わる電圧を制御し，速度をコントロールしようとするものです。

入力電流（I_B）はほとんど必要としませんから，V_L の値は可変抵抗の分割比で定まります。



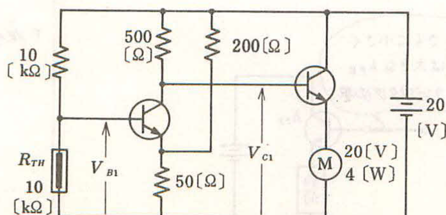
可変抵抗で 入力電圧を
変化させているわけですね

「そういうこと」

13　図の回路は，温度を検出し，電圧増幅した出力を電力制御回路に加えて，モータの速度をコントロールしようとする回路です。

温度が上昇したとき，どのようになるかを考えてください。

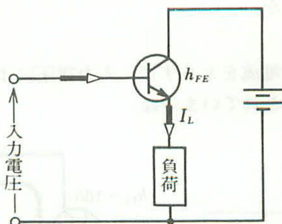
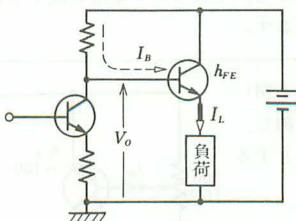
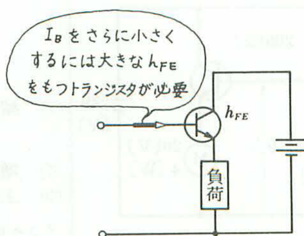
温度が上昇する。
⇩
V_{B1} が(ア)＿＿＿＿
⇩
V_{C1} が(イ)＿＿＿＿
⇩
モータの回転速度が(ウ)＿＿＿＿



(ア)　減少

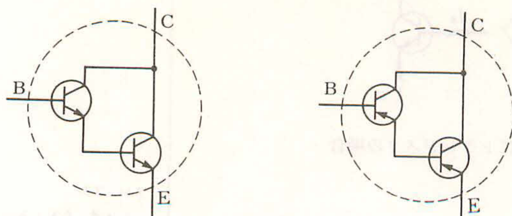
(イ)　増加
(ウ)　上昇

「このモータに ファンを
つけておくと．
どうなるかな」

14　ところで，図のような回路で負荷を駆動しようとしたとき，入力電圧からまったく電流を取り出さないわけではありません。 すでに学んだように，コレクタ電流 I_C の $\frac{1}{h_{FE}}$ の電流は必要とするわけです。  	「今から F11の質問に答えますよ」 ハイ，ハイ 待ってました
15　この電流 I_B によって電圧 V_o が影響を受けなければ問題はありませんが，もしも V_o がかなり減少してしまうようならば，もっと少ない電流値におさえる必要があります。 I_B の値は $\frac{I_C}{h_{FE}} \doteqdot \frac{I_L}{h_{FE}}$ となりますから，I_B の値をさらに小さくするためには，トランジスタの h_{FE} を＿＿＿＿＿くすればよいわけです。  	大き でも h_{FE}には限界があるでしょ 「そうですネー」
16　すなわち，電力制御回路への入力電流をさらに小さくするためには，さらに大きな＿＿＿＿＿の値をもつトランジスタが必要になってきます。 しかし，使用するトランジスタによっては，どうしても必要な h_{FE} が得られないこともあります。  	h_{FE} フン，フン 「次のフレームへどうぞ」

17　このような場合は，図のようにトランジスタを２段接続して，見かけ上，h_{FE} のかなり大きな一つのトランジスタとして動作させるようにしています。

このようなトランジスタの接続法を**ダーリントン接続**といっています。



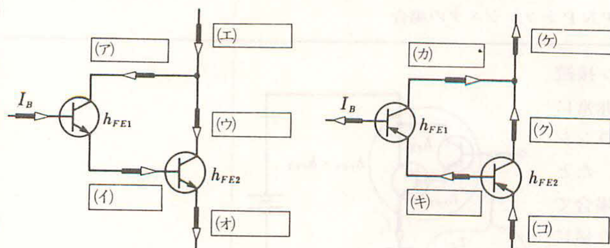
（図ａ）ＮＰＮトランジスタの場合　（図ｂ）ＰＮＰトランジスタの場合

トランジスタを
２段接続ね一

「そうですよ
ダーリントン接続です」

18　それでは，図のようなダーリントン接続における各部の電流がどのような値になるかを示してください。

〈ヒント〉(ア)，(イ)，(ウ)，(エ)，(オ)の順に求めると簡単です。



（図ａ）ＮＰＮトランジスタの場合　（図ｂ）ＰＮＰトランジスタの場合

「あわてないで
順を追ってネ」

(ア)(カ) $h_{FE1} \cdot I_B$

(イ)(キ) $(1+h_{FE1})I_B$

(ウ)(ク) $(1+h_{FE1})I_B \cdot h_{FE2}$

(エ)(ケ) $h_{FE1}I_B+(1+h_{FE1})h_{FE2}I_B$

$=\{h_{FE1}+(1+h_{FE1})h_{FE2}\}I_B$

(オ)(コ)

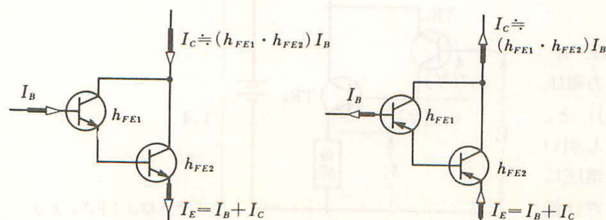
$(1+h_{FE1})I_B h_{FE2}+(1+h_{FE1})I_B$

$=\{(1+h_{FE1})h_{FE2}+(1+h_{FE1})\}I_B$

$=(1+h_{FE1})(1+h_{FE2})I_B$

19　どのようになりましたか。

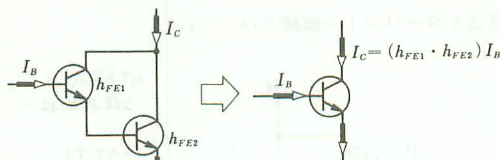
前フレームでは厳密に計算しましたが，これらを $(1+h_{FE}) \fallingdotseq h_{FE}$ として近似するとつぎのようになります。



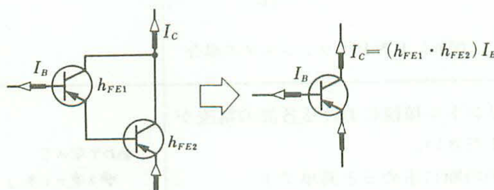
（図ａ）ＮＰＮトランジスタの場合　（図ｂ）ＰＮＰトランジスタの場合

スゴく
すっきり するなァー

20　すなわち，トランジスタをダーリントン接続すると，I_B，I_Cの値はそれぞれ図のようになり，実質的に＿＿＿＿＿＿の電流増幅率をもつ一つのトランジスタとして動作するようになるわけです。



（図ａ）ＮＰＮトランジスタの場合



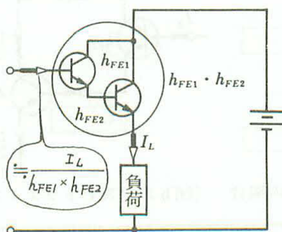
（図ｂ）ＰＮＰトランジスタの場合

$h_{FE1} \times h_{FE2}$

フン フン
これは おもしろい

「このように 内部的に 接続されたものが，ダーリントントランジスタ として，市販されて いますよ」

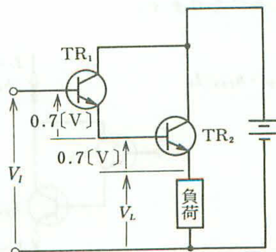
21　このようなダーリントン接続を利用すると，実質的には非常に大きなh_{FE}の値をもったトランジスタが得られることになり，たとえ大きな負荷電流が流れる場合でも，入力電流を非常に小さな値にすることができるため，問題のない電力制御回路がつくれることになります。



ナルホド
ナルホド

22　ただし，この場合，注意しなければならないことがあります。

それは，負荷にかかる電圧 V_L が，図でわかるように，入力電圧 V_I から TR_1 の V_{BE}（0.7〔V〕）と，TR_2 の V_{BE}（0.7〔V〕）とをさし引いた値になりますから，入力電圧に対して約＿＿＿＿＿＿〔V〕だけ低くなるということです。



1.4

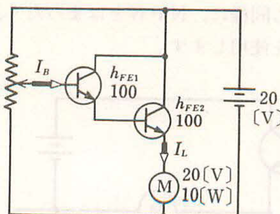
フン フン

「気を付けて下さいヨ」

23　さて，図の回路は，可変抵抗を用いて電力制御回路にかかる入力電圧を調整し，モータの速度を制御しようとする回路です。

入力電圧が表のような値になったときのモータに加わる電圧 V_L，モータに流れる電流 I_L，モータの消費電力 P_0，および入力電流 I_B をそれぞれ求めてみてください（モータの抵抗は40〔Ω〕とします）。

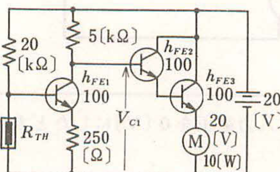
入力電圧	I_B〔mA〕	V_L〔V〕	I_L〔A〕	P_0〔W〕
1.4〔V〕				
11.4〔V〕				
19.4〔V〕				



入力電圧	I_B〔mA〕	V_L〔V〕	I_L〔A〕	P_0〔W〕
1.4〔V〕	0	0	0	0
11.4〔V〕	0.025	10	0.25	2.5
19.4〔V〕	0.045	18	0.45	8.1

24　図の回路は，サーミスタで温度変化を検出した信号を電圧増幅し，その電圧でモータに与える電力を制御する回路です。

いままでのまとめの意味で，温度によってサーミスタの抵抗がつぎのように変化したとき，モータに加わる電圧V_Lを求めてください。



「電力制御回路への入力電流は無視できるような値になっていますョ」

R_{TH}＝1.7〔kΩ〕のとき ⇨ V_{C1} ≒(ア)＿＿〔V〕⇨ V_L ≒(イ)＿＿〔V〕

R_{TH}＝1.2〔kΩ〕のとき ⇨ V_{C1} ≒(ウ)＿＿〔V〕⇨ V_L ≒(エ)＿＿〔V〕

R_{TH}＝800〔Ω〕のとき ⇨ V_{C1} ≒(オ)＿＿〔V〕⇨ V_L ≒(カ)＿＿〔V〕

(ア)　2.7　(イ)　1.3
(ウ)　11.4　(エ)　10
(オ)　18.6　(カ)　17.2

25　これでいちおう，電力制御の基本の学習は終わりました。

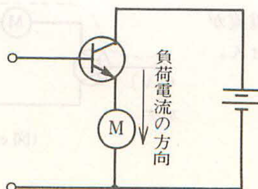
ところで，いままでの制御方法は，負荷に流れる電流が常に一方向の制御でした。

したがって，モータの回転速度を制御することはできましたが，回転方向を変えることはできません。

しかし，実際には，入力電圧の大きさによってモータの回転方向を正方向や逆方向に切り換えたいような場合もあります。

このようなときには，モータに流れる電流の方向も変えなければなりません。

では次に，いままでの学習を基礎にして，このように回転方向も制御できる方法について学習していきましょう。



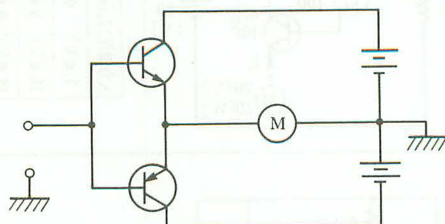
ホー
こんなことも
できるのですか

「技術力の問題だョ」

26　このような場合も，電力制御回路の構成そのものはまったく変わりません。

このような場合の基本的な考え方は，図のようにいままでとまったく逆の回路を下側につければよいということです。

トランジスタについても同様に，ＮＰＮとはまったく逆の動作をするＰＮＰトランジスタを使用します。

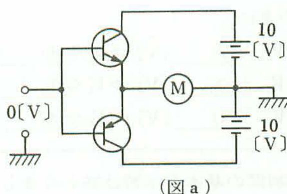


このようにすると
どうなるのかな

「次のフレームへ
どうぞ」

27　ではまず，この回路の入力電圧を０〔Ｖ〕にしたときの動作をみてみましょう。

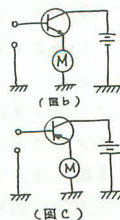
わかりやすくするために，図ａの回路を上下分割して，図ｂや図ｃのようにして考えていきましょう。



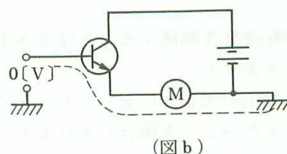
（図ａ）

分解すると
変な感じだなあ

「次のように
書き直すとどうかな」

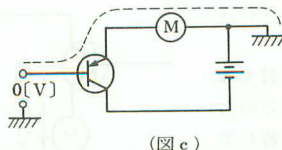


図でわかるように，入力電圧が０〔Ｖ〕の場合は，どちらのトランジスタにもベース電流が
{(ア)　流れます。
(イ)　流れません。}



（図ｂ）

したがって，モータにも電流が流れず，モータは回転しません。



（図ｃ）

(イ)　流れません

28 それでは，入力電圧として2〔V〕を加えたときにはどのようになるでしょうか。

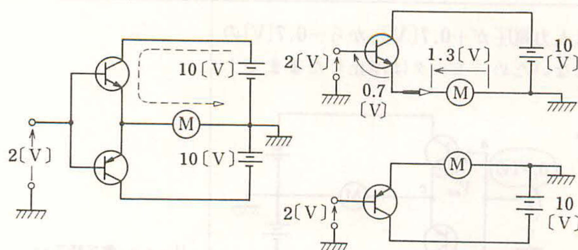
この場合には，PNPトランジスタは極性が逆方向のためベース電流は流れませんが，NPNトランジスタのほうには順方向電圧が加わりますから，ベース・エミッタ間の電圧降下0.7〔V〕を引いた(ア)________〔V〕の電圧がモータに加わります。

したがって，モータには矢印の方向の電流が流れ，回転します。

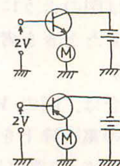
そして，この入力電圧が上昇すればするほど，モータに加わる電圧は大きくなり {(イ)速く / (ウ)遅く} 回転するようになります。

(ア) 1.3

(イ) 速く



わかりにくければ，
次のようにして
考えれば いいよ



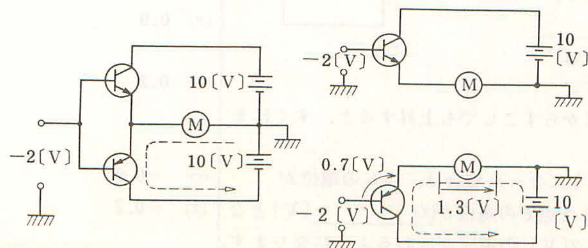
29 では，入力電圧が−2〔V〕になったときを考えてみましょう。

こんどは上側のNPNトランジスタが動作しなくなり，下側のPNPトランジスタが動作するようになりますから，モータにはさきほどとは逆の方向に(ア)________〔V〕の電圧がかかるようになります。

したがって，モータは逆方向に回転し，そして，この場合も入力電圧が−2〔V〕から負方向に大きくなればなるほど，モータは {(イ)速く / (ウ)遅く} 回転します。

(ア) 1.3

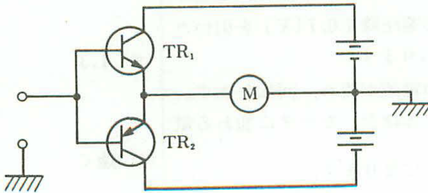
(イ) 速く



なるほど
入力電圧によって，
それぞれのトランジスタを
切り替えて，使用する
わけだナ

「そういうこと」

30　このような回路は，モータの正方向・逆方向の回転を制御する場合などによく用いられる回路ですから，基本の動作をしっかりと理解しておいてください。

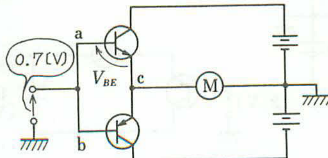


「入力電圧によって
どのようになるか
確認しておいて下さいヨ」

ハイ，ハイ，

31　ところで，いまの場合は入力電圧が＋0.7〔V〕から－0.7〔V〕の範囲内ではベース電流が流れないため，モータは停止したままです。

たとえば図のように＋0.7〔V〕を加えたときを考えてみましょう。



この場合は，図の V_{BE} で0.7〔V〕の電圧降下を起こしますから，点cの電位は0〔V〕となって，モータに電圧はかかりません。

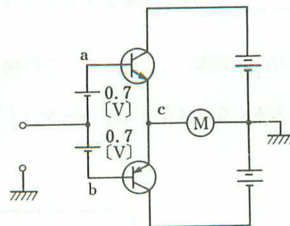
つまり，入力電圧が±0.7〔V〕の範囲ではモータはまったく動作しません。

V_{BE}での 電圧降下が
問題なんだナ

「負の入力電圧の場合も
同じことですよ 」

32　では，図のように0.7〔V〕の電池を入れるとどうでしょうか。

こうしておくと，入力電圧がすこしでも上昇すると点aの電位も点cの電位も上昇します。



たとえば，入力電圧が0.2〔V〕のとき点aの電位は(ア)＿＿＿＿〔V〕となり，また点cの電位は(イ)＿＿＿＿〔V〕となります。

つまり，入力電圧が0〔V〕からすこしでも上昇すると，すぐにモータは回転します。

また，入力電圧が－0.2〔V〕になった場合は，点bの電位が(ウ)＿＿＿＿〔V〕となり，また点cの電位が(エ)＿＿＿＿〔V〕となって，モータには逆方向の0.2〔V〕の電圧が加わるようになります。

ナルホド
B・E間電圧の 0.7〔V〕を
補償するわけだ.

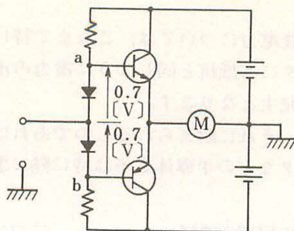
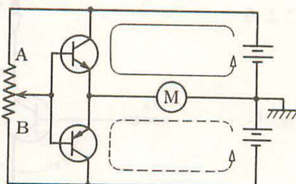
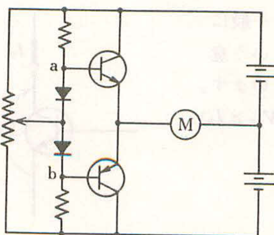
「そういうこと 」

(ア)　0.9

(イ)　0.2

(ウ)　－0.9

(エ)　－0.2

33 ところで，実際にはこのようなところに電池を入れるのは不便ですから，図のように抵抗とダイオードを接続して，ダイオードのところで常に0.7〔V〕の電圧降下を起こさせて，この動作をさせています。 	「ダイオードも，トランジスタのB・E間と同じように，順方向電流を流すと，0.7〔V〕の電圧降下を起こします」
34 図は，入力電圧を可変抵抗で変化させ，それによってモータをコントロールしようとする回路です。 可変抵抗が中点にあるときはモータは停止しています。 次に，A方向に移動させるとモータには{(ア)実線 (イ)破線}の方向に電流が流れ，またB方向に移動させるとモータには{(ウ)実線 (エ)破線}の方向に電流が流れるようになります。 	(ア) 実線 (エ) 破線 OK OK しかし，±0.7Vは ダメなわけでしょ 「そういうこと」
35 また，図の回路はモータが動作しない範囲をせまくした制御回路です。 この場合も可変抵抗を変化させて点aや点bの電位を変化させ，モータに加わる電圧を制御しています。 	OK，OK，
36 いままでの学習で，電圧増幅器出力で負荷を制御するとどのような問題が生じるか，またそのためにどのような電力制御回路を構成すればよいのかといったことを学んできました。 では最後に，この電力制御回路を実際に動作させる場合に注意しなければならない点について学習しておきましょう。 それは，トランジスタにおける消費電力の問題です。	

37 トランジスタにおける消費電力

トランジスタにおける消費電力については，これまで特に触れませんでしたが，トランジスタにも抵抗と同じように電力の消費が起こり，この消費電力が熱の発生となります。

温度がいくら上昇しても，それに耐えられるものであれば問題はないのですが，トランジスタなどの半導体素子は特に熱に弱いという欠点があります。

したがって，この熱発生の原因となる＿＿＿＿＿については，じゅうぶん注意を払う必要があります。

ジュール熱ですね

「第1章で少しでてたでしょ」

消費電力

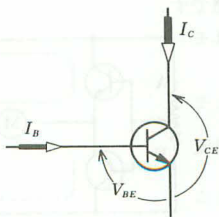
38 トランジスタにおける消費電力には，つぎの二つのものがあります。

(1) ベース電流 I_B と V_{BE} による消費電力 P_B

$$P_B = V_{BE} \times I_B$$

(2) コレクタ電流 I_C と V_{CE} による消費電力 P_C

$$P_C = V_{CE} \times I_C$$



フン フン
電力＝電圧×電流 だからなァ

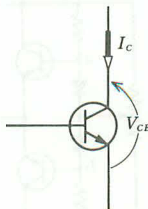
「この電力が 熱のもとに なるんだヨ」

39 しかし，P_B は P_C に比べると非常に小さく，問題にならないため，一般には P_C をトランジスタにおける消費電力として取り扱っています。

そして，この P_C のことを一般にコレクタにおける電力損失という意味から**コレクタ損失**といっています。

$$(P_C = V_{CE} \times I_C) \gg (P_B = V_{BE} \times I_B)$$

非常に大きい



「なぜ $P_C \gg P_B$ なのか わかるかな」

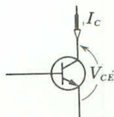
$I_C \gg I_B$ だからでしょ

「トランジスタが わかってきたね」

40 このようにトランジスタには，コレクタ損失 $P_C = V_{CE} \times I_C$ の消費電力があり，この電力がすべて熱となるのです。

当然のことですが，このコレクタ損失が大きくなればなるほど，発生する熱量も大きくなり，トランジスタの温度は＿＿＿＿＿していきます。

上昇



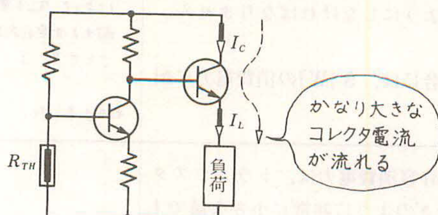
$P_C = V_{CE} \times I_C$ が大きいほどトランジスタでの発生熱量も増加する。

当然，当然，

41　電圧増幅回路のトランジスタの場合には，コレクタ電流が一般に小さく，ミリ・アンペア程度なので，コレクタ損失 $P_C = V_{CE} \times I_C$ も小さく，心配はありません。

しかし，電力制御部のトランジスタにはかなり大きなコレクタ電流を流すため，コレクタ損失（P_C）の値も相当大きくなってしまいます。

ですから，電力制御部のトランジスタについては，とくにこの＿＿＿＿に注意しなければなりません。



コレクタ損失

フン　フン
電力制御部のトランジスタには，負荷電流が流れるんだからなあ

42　では実際に，図のような電力制御部のトランジスタにおけるコレクタ損失がどのようになるか求めてみましょう。

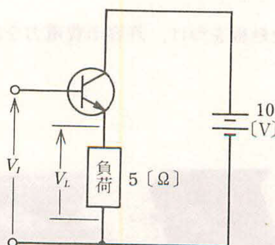
たとえば，入力電圧 V_I が5.7〔V〕とすると，負荷に加わる電圧 V_L が5〔V〕になりますから，エミッタに流れる電流は(ア)＿＿＿＿〔A〕となり，コレクタにもおよそ1〔A〕の電流が流れることになります。

したがって，コレクタ損失 P_C はつぎのように求められます。

$P_C = V_{CE} \times I_C$

$= (V_{CC} -$ (イ) $) I_C$

$=$(ウ)＿＿＿＿〔W〕



できましたか。

それでは，これと同じ方法で入力電圧 V_I が2.7〔V〕のときと，8.7〔V〕のときのコレクタ損失をそれぞれ求めてください。

(1)　$V_I = 2.7$〔V〕のとき　$P_C =$(エ)＿＿＿＿〔W〕

(2)　$V_I = 8.7$〔V〕のとき　$P_C =$(オ)＿＿＿＿〔W〕

(ア)　1

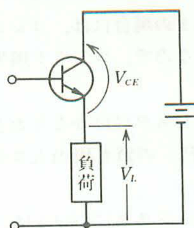
(イ)　V_L

(ウ)　5

(エ)　3.2

(オ)　3.2

43　トランジスタにおけるコレクタ損失は，入力電圧の値によって異なりますが，実は負荷にかかる電圧 V_L とコレクタ・エミッタ間の電圧 V_{CE} の値が等しくなったときが最大の値となります。



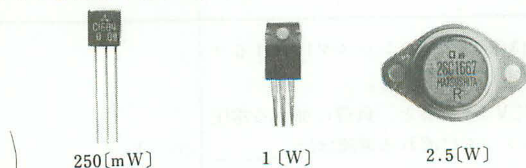
そのため，この最大の消費電力を発生する状態における熱発生に対して，トランジスタが耐えられるようにしなければなりません。

たとえば，前フレームの回路の場合には，5〔W〕の消費電力に耐える必要があるわけです。

「つまり，5〔W〕の消費電力によって生じる熱発生に耐える必要があるということですよ」

わかりました．

44　ところで，トランジスタ単体の許容消費電力は，トランジスタによっても異なりますが，およそつぎのように非常に小さな値です。



250〔mW〕　　1〔W〕　　2.5〔W〕

トランジスタにこれ以上の消費電力がある場合には，熱を発散させるための放熱板を取りつけて放熱効果をよくし，これに対処しています。

図は，トランジスタに放熱板をつけ，許容消費電力を向上させた例を示しています。



ナルホド
トランジスタに変なものがついているのは，
放熱のためなのか

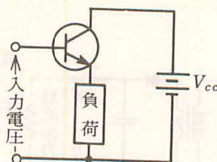
45　それでは，このようにトランジスタで大きな消費電力を発生させないで負荷を制御する方法はないものでしょうか。

次章では，このような方法について学習することにしましょう。

「どうぞ
おたのしみに　」

進んだ学習：電圧安定化回路

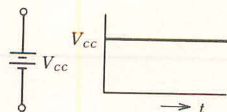
1　いままでの学習では，図のような回路を構成し，入力電圧によって負荷に加える電力を制御する方法について学習してきました。



「回路動作はもう・バッチリですネ」

ハイ　大丈夫ですよ

2　ところで，この回路の応用として，負荷の制御という意味からは，すこしずれるのですが，電子制御を行ううえで非常に重要な働きをする**電圧安定化回路**があります。



電圧安定化回路とは，電子回路の直流電源 V_{cc} をつくるときに必要となるものです。

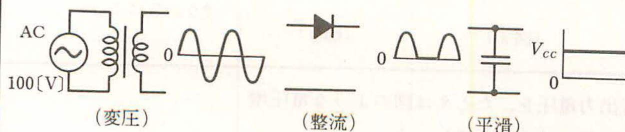
フーン
これから　直流電源を
つくろうっていうわけかな

「実は　そうなんです」

3　一般に直流電源 V_{cc} は，図のように交流100〔V〕の電源電圧を変圧器で変圧し，その出力電圧をダイオードで整流したのち，コンデンサで平滑して得ているわけです。

ここで**整流**とは，図のようにダイオードを用いて，交流電圧の正負の電圧から正か負かの半波分だけを取り出すことをいいます。

また，**平滑**とは，変動している電圧をコンデンサを用いてなめらかにすることをいいます。

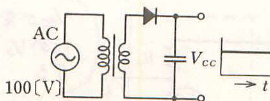


（変圧）　（整流）　（平滑）

なるほど
このようなステップを
ふんで　直流電源を
つくっているわけか

「そうですョ
電池の代用を
させているわけです」

4　つまり，図のような回路で直流電圧を得ているわけです。



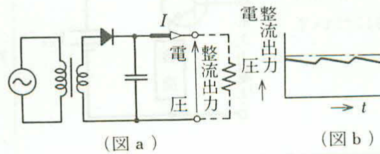
このようにして交流電圧から直流電圧をつくることを**整流する**といい，そのための回路を**電源整流回路**といっています。

そして，このようにして得た直流電圧のことを**整流出力電圧**といっています。

「整流回路については
電子回路編(I)で
取扱っていますから，
必要なら参照して下さい」

5　しかし，このような電源整流回路だけではすこしふつごうな場合があります。

ここでは説明を省きますが，このような電源整流回路だけの場合には，直流電圧が出るといっても，電流（I）を取り出すと，図bのように整流出力電圧が変動するようになります。

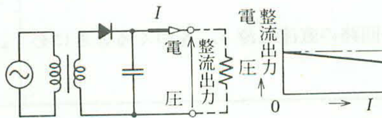


（図a）　（図b）

オヤ オヤ
電圧が変動するんですか

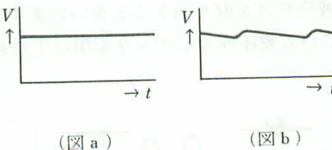
「このような現象を
リップル（ripple）が
でるとか何ていっていますョ」

6　さらに，電流の大きさによって図のように整流出力電圧が低下するようになります。



「この現象を電圧変動といい，どの程度低下するかという目安を，電圧変動率という値で示しています」

7　すなわち，交流電圧を整流し，平滑しただけでは，図aのようなよい直流電圧は得られず，図bのように変動したり，低下したりしてしまうわけです。



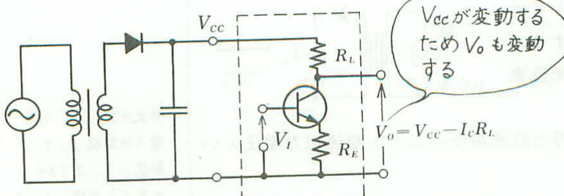
（図a）　（図b）

ウーム
完全な直流電圧が
得られないという
ことですね

「そういうこと」

8　では，このような整流出力電圧を，たとえば図のような電圧増幅回路の直流電源 V_{CC} として用いるとどうでしょう。

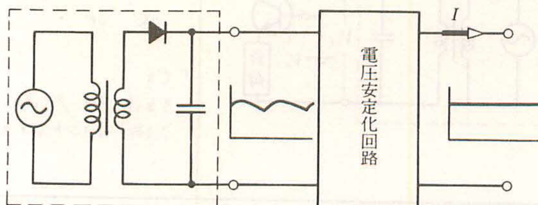
V_{CC} が変動すると，増幅回路の出力電圧 V_o も同じように変動してしまいます。



フン フン

V_{CC}が変動しちゃ
仕方がないなあ

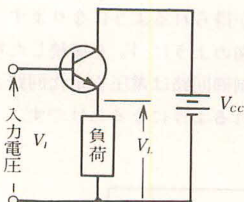
9　そこで，このような場合に，電流を流しても安定した直流電圧が得られるようにするための回路を電圧安定化回路といっているわけです。



ホー
電圧安定化回路を通せば
完全な直流が得られると
いうわけですね。

「そのとおり
変動しないように
安定化するわけ
ですからね」

10　それでは，いままで学習してきた電力制御回路がどのようにして電圧安定化回路の働きをするようになるのかを学習していきましょう。



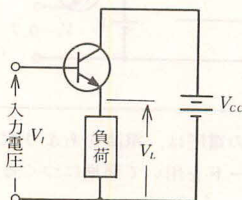
「さあ
ここからが本論だョ」

ヨーシ

11　すでに学んだように，図のような電力制御回路では，負荷に加わる電圧 V_L は

$$V_L = V_I - 0.7 \text{〔V〕}$$

となり，入力電圧 V_I の値によって定まりました。



コレクタに接続されている直流電源 V_{CC} が，ほぼ負荷に加える電圧以上の電圧値をもったものであれば，たとえその値が変動しても V_L が変化することはありません。

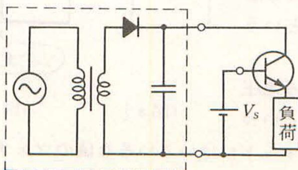
V_L は V_I によって定まります。

「ここは復習ですョ
大丈夫かな」

OK
バッチリ

12　では，この直流電源のかわりに，図のように整流出力電圧を加えておくとどうでしょう。

ベースには，電流はそれほどとれませんが，安定した直流電圧 V_S を加えておきます。



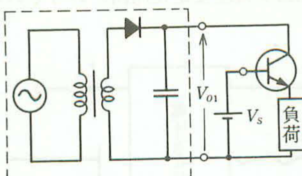
「負荷に加わる電圧は
どうなるかな」

$V_S - 0.7v$ でしょ

「ホー
スゴイネ」

13 このようにすると，負荷に加わる電圧は，たとえ整流出力電圧 V_{01} が変動しても，正確に $V_S-0.7$〔V〕となります。

そして，たとえ負荷が変わって負荷電流が変化しても，負荷に加わる電圧が変動することはなくなります。



フン フン

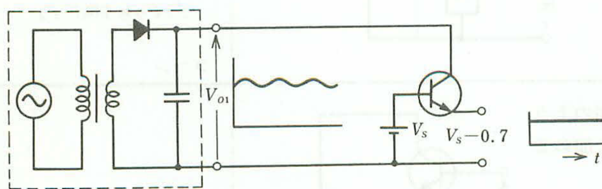
OK OK

「でも
手を抜いちゃ ダメだヨ
ここが ポイントです」

14 では，負荷の両端から図のように直流出力電圧を取るようにするとどうでしょう。

このようにすれば，V_S の値さえ安定していれば，エミッタ・アース間には安定した直流出力電圧が得られるようになります。

つまり，電源整流回路の出力を図のように V_S を接続した電力制御回路を介して取り出すと，電力制御回路は電圧安定化回路として動作し，安定した直流電圧が得られるようになるわけです。



なるほど
これは面白い応用だ

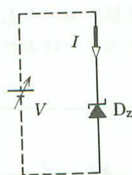
でも V_Sは
どうして つくるのかな

「次のフレームへ どうぞ」

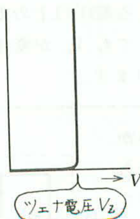
15 ところで，安定した V_S の電圧は，電流をあまり取り出さないのであれば，**ツェナ・ダイオード**を用いて簡単につくることができます。

ツェナ・ダイオード（D_Z）とはダイオードの一種で，図aのように逆方向に電圧（V）を加え，この電圧を上昇していったとき，図bのようにある電圧値に達すると急激に電流（I）を流し始めるというものです。

ここで，電流を流し始める電圧のことを**ツェナ電圧**（V_Z）といっていますが，ツェナ・ダイオードにはいろいろな値のツェナ電圧のものがあります。



（図a）



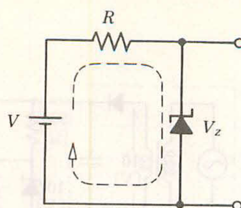
（図b）

アレ アレ
ダイオードは 逆方向に
電流を流さないはず
だったのになあ

「チョット 違うから
ツェナーーと名前が
ついているわけです」

16　このようなツェナ・ダイオードを用いて図のような回路を構成し，電圧Vをツェナ電圧 V_Z 以上の値にしておくと，V_Z 以上の電圧分は図のように電流が流れることによって，すべて抵抗Rでの電圧降下となってしまいます。

そして，ツェナ・ダイオードの両端には，一定のツェナ電圧 V_Zが得られるようになります。



たとえば，図の回路で V_Z ＝5〔V〕のツェナ・ダイオードを接続し，電圧Vに10〔V〕を加えると，抵抗Rで5〔V〕の電圧降下を生じ，ツェナ・ダイオードの両端からは5〔V〕の電圧が得られます。

「このようなことから
ツェナ・ダイオードのことを 定電圧ダイオードともいっています」

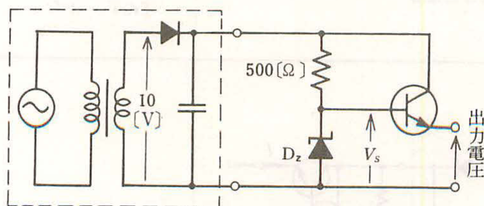
ナルホド
・定電圧のダイオードという意味だな

17　図 a の回路は，ツェナ・ダイオード Dz を用いて安定した V_S の電圧をつくり，これによって安定した直流電圧を得ようとした電圧安定化回路です。

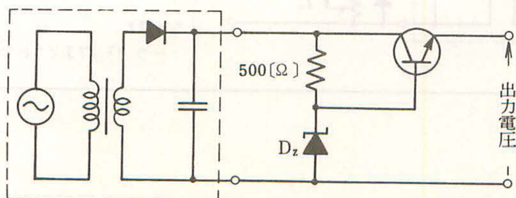
図 a の回路では 5〔V〕のツェナ・ダイオードを接続していますから，V_S ＝5〔V〕となり，出力には安定した＿＿＿＿＿〔V〕の直流電圧が得られるようになります。

4.3

一般には図 a のような書き方をせず，図 b のような書き方をしています。



（図 a ）



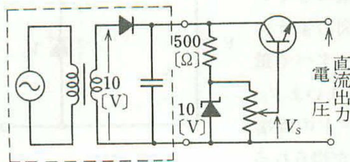
（図 b ）

「図 a と図 b とは
同じものですヨ」

書き方によって 感じが
変わるもんだなあ

「外見に
まどわされないようにネ」

18 図の回路は，直流出力電圧を自由に変化できるようにした電圧安定化回路です。



ツェナ・ダイオードで得た安定した電圧を可変抵抗で分圧し，V_S の値を変化できるようにしています。

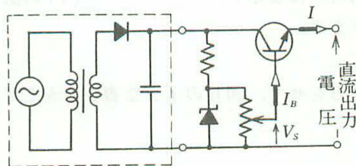
V_S の値をつぎのようにしたときの直流出力電圧はいくらになるでしょうか。

V_S ＝3〔V〕のとき ⇨ (ア)________〔V〕
V_S ＝5〔V〕のとき ⇨ (イ)________〔V〕
V_S ＝8〔V〕のとき ⇨ (ウ)________〔V〕

なるほど
すると可変型安定電源だ
「一度つくってみる気になるかな」

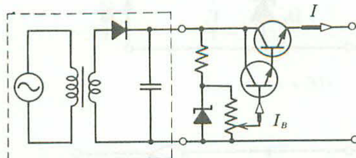
(ア) 2.3
(イ) 4.3
(ウ) 7.3

19 しかし，図のような回路では，出力電流をあまり大きくとりすぎると I_B によって可変抵抗のところで電圧降下が起こり，V_S の値が変動して直流出力電圧が変動するようになります。



IBをもっと少なくする必要があるわけだ
「どんな回路にすればいいかな」

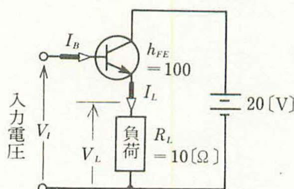
20 図の回路は，トランジスタをダーリントン接続して実質的な h_{FE} の値を大きくし，I_B の値を小さくして，かなり大きな電流を取り出しても正確に動作するようにした電圧安定化回路です。



なるほど
一つ，作っておこうかな

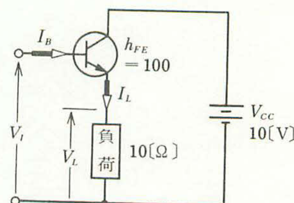
練 習 問 題

1　図の回路で，入力電圧が10.7〔V〕のときの V_L，I_L，I_B および負荷の消費電力 P_L を求めなさい。



2　図の回路で，入力電圧をつぎのように変化したときの I_B，V_L，I_L および負荷の消費電力 P_L の値をそれぞれ求めなさい。

V_I	I_B	V_L	I_L	P_L
1.2〔V〕				
5.7〔V〕				
9.7〔V〕				



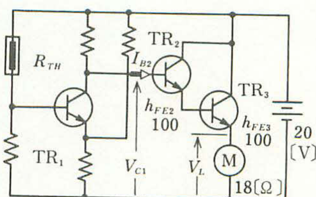
3　図の回路は，サーミスタで温度を検出した信号を電圧増幅し，その出力でモータに加える電力を制御する回路です。

つぎの問いに答えなさい。

(1)　TR_2，TR_3 の接続法をなんといいますか。

(2)　TR_2，TR_3 の全体の電流増幅率はおよそいくらになりますか。

(3)　図の回路で V_{C1}＝19.4〔V〕のとき，V_L の値および I_{B2} の値は，およそいくらになりますか。

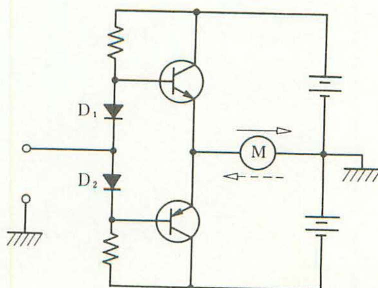


4　図の回路について，つぎの問いに答えなさい。

(1)　入力電圧が正のときには，モータに流れる電流の方向は図の実線，破線のどちらの方向ですか。

(2)　入力電圧が＋1〔V〕のときモータに加わる電圧はいくらになりますか。

(3)　ダイオード D_1，D_2 を短絡させると，どのような動作をするようになりますか。



5. ON-OFF制御とシュミット・トリガ

学 習 の 目 標

1．ON-OFF制御とはどのような制御方法なのかを学習する。

2．ON-OFF制御の基本となるトランジスタのスイッチング動作について学習する。

3．ON-OFF制御を行うために必要となる比較回路やシュミット・トリガ回路について学習する。

(1) どのような動作をするものか。
(2) どのような回路構成になっているのか。
(3) 各回路定数をどのように設定すればよいのか。



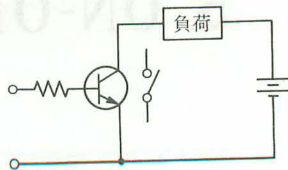
学習の概要

1．ON-OFF 制御

(1)　トランジスタにスイッチのような働きをさせて，負荷を駆動したり，しなかったりする制御をON-OFF制御といっています。

トランジスタがスイッチON⇨負荷が駆動される。

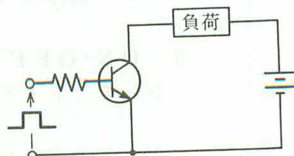
トランジスタがスイッチOFF⇨負荷が駆動されない。



(2)　このような制御法は，トランジスタの消費電力が少なく，大きな放熱板をつけたりせずに，かなりの負荷を制御することができます。

2．トランジスタのスイッチング動作

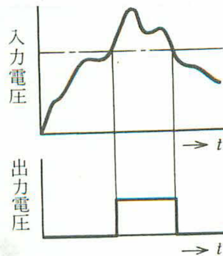
図のような回路で，コレクタ電流を流さないような入力電圧か，またはコレクタ電流を飽和させるような入力電圧かの，いずれかの入力電圧を加えると，トランジスタのコレクタ・エミッタ間はスイッチと同じ動作をするようになります。



トランジスタのこのような動作を**スイッチング動作**といっています。

3．比 較 回 路

(1)　**比較回路**とは，図のようにある値以上の入力電圧がくれば出力電圧を高い値にし，ある値以下の入力電圧に対しては出力電圧を低い値にするという比較判定動作をする回路です。

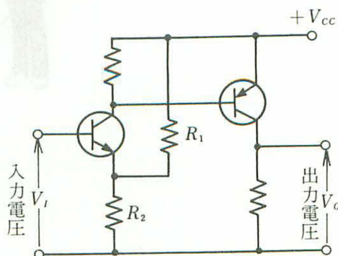


(2)　検出器や電圧増幅器からの連続的な信号に対して，負荷を ON-OFF 制御するには，このような比較回路が必要になります。

(3)　図の回路は，つぎのような比較判定動作をします。

$$V_I > \left(\frac{R_2}{R_1+R_2}V_{CC}+0.7\right) \text{のとき} \Rightarrow V_O \fallingdotseq V_{CC}$$

$$V_I < \left(\frac{R_2}{R_1+R_2}V_{CC}+0.7\right) \text{のとき} \Rightarrow V_O \fallingdotseq 0$$



(4)　しかし，このような回路では，入力電圧が比較判定レベル付近にあるときには，中間の出力を出すようになります。

4．シュミット・トリガ回路

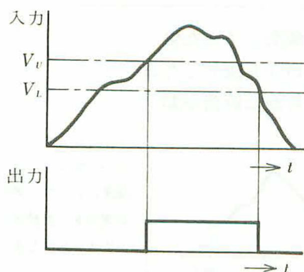
(1) 入力電圧が判定レベル上にあっても，中間の出力を出すことのない比較回路をシュミット・トリガ回路といっています。

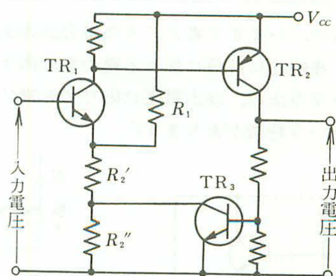
(2) シュミット・トリガ回路では，図のように出力電圧を高い値にする入力電圧の値（V_U）と，出力電圧を低い値にする入力電圧の値（V_L）とが別々に現れます。これがシュミット・トリガ回路の特徴です。

(3) 図の回路の V_U，V_L の値は，次式のようになります。

$$V_U=\frac{(R_2'+R_2'')}{R_1+(R_2'+R_2'')}V_{CC}+0.7$$

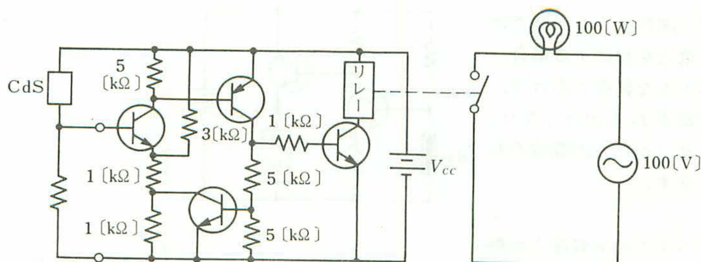
$$V_L=\frac{R_2'}{R_1+R_2'}V_{CC}+0.7$$





5．応　用　例

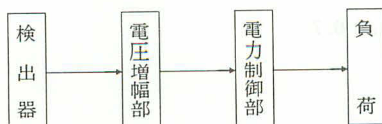
図の回路はCdSで明るさを検知し，その検出電圧が4.7〔V〕以上になるとリレーを働かせてランプを点灯し，3.2〔V〕以下になるとランプを消灯するという回路です。



学習の展開

1　これまでの学習で，トランジスタを用いて，検出してきた信号を増幅し，負荷を制御するという電子制御の基本について学んできました。

それと同時に，トランジスタの働きや使い方についても理解できたと思います。



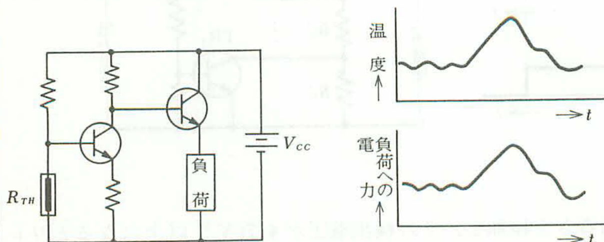
さあ スタートだ!

「この章で 第一段階の 学習は 終了ですよ」

ヨーシ 頑張ろう

2　ところで，いままで考えてきた電力制御法は，検出してきた信号に応じて連続的に負荷に加わる電力を制御するという方法でした。

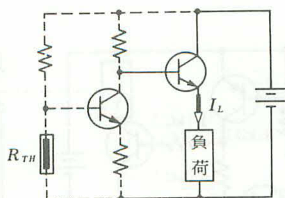
このような方法は，検出電圧に応じて非常になめらかに負荷が制御できるという特徴があります。



フン フン
温度によって，負荷に加わる電力を，連続的に制御できるからなあ

3　しかし，その反面，トランジスタにおける消費電力の問題がありました。

たとえば，図のような回路で負荷に加わる電力を制御する場合，消費電力の大きな負荷であれば，流れる負荷電流 I_L も大きくなり，トランジスタにおける消費電力も大きくなります。



トランジスタでの消費電力は熱の発生となりますから，それにともなって放熱板も大きなものが必要になってきます。

半導体は 熱に弱いからナァー

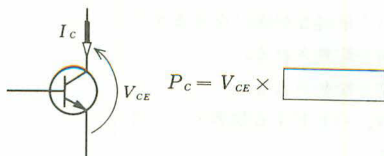
「冷やすのも 大変ですョ」

4　そこで，この点を解決するために，この章では，制御機能という面からはすこし低下するのですが，トランジスタの消費電力の面からみれば非常に有利に負荷を制御できるというＯＮ－ＯＦＦ制御について学習していきましょう。

よろしく　お願いします.

5　**ＯＮ－ＯＦＦ制御**

すでに学んだように，トランジスタでの消費電力 P_Cは，V_{CE}も加わり，I_Cも流れるために生じます。



$$P_C = V_{CE} \times \boxed{}$$

ハイ　ハイ
この P_Cが問題だ

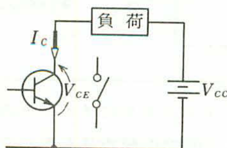
I_C

6　ところで，トランジスタのコレクタ・エミッタ間がスイッチのような働きをするとどうでしょう。

スイッチの状態によって，V_{CE}やI_Cはつぎのようになります。

スイッチがはいったとき⇨V_{CE}=(ア)＿＿＿＿

スイッチが切れたとき⇨I_C=(イ)＿＿＿＿



(ア)　0

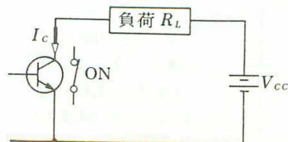
(イ)　0

7　すなわち，図ａのようにスイッチがはいっているときは，I_Cには V_{CC}/R_Lの電流が流れますが，V_{CE}は0となるため，消費電力 P_Cは(ア)＿＿＿＿＿＿となります。

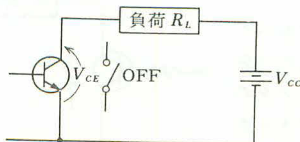
$$P_C = V_{CE} \times I_C = 0 \times \frac{V_{CC}}{R_L} = 0$$

また，図ｂのようにスイッチが切れているときは，$V_{CE} = V_{CC}$ となりますが，電流が流れませんから，P_Cはやはり(イ)＿＿＿＿＿です。

$$P_C = V_{CE} \times I_C = V_{CC} \times 0 = 0$$



（図ａ）



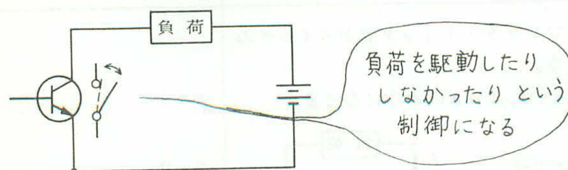
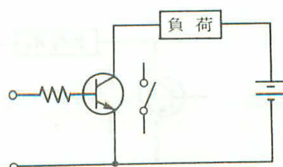
（図ｂ）

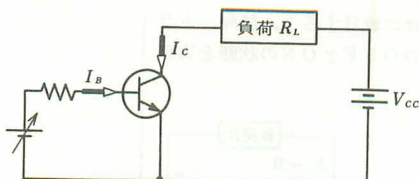
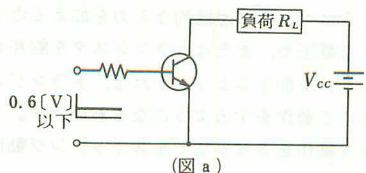
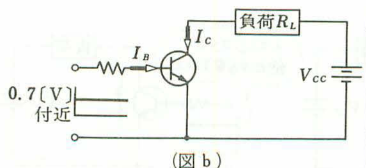
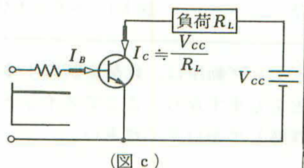
(ア)　0

(イ)　0

ナルホド
スイッチは消費電力がないわけか

「そうですよ.
放熱板のついたスイッチを
見たことがありますか」

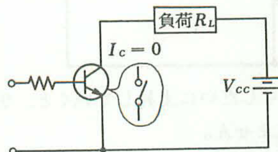
8　このように，トランジスタにスイッチのような働きをさせて負荷を制御すると，トランジスタ内部での消費電力はほとんど0となります。 したがって，熱の発生も非常に少なくなり，トランジスタに放熱板をつけなくてもかなり大きな負荷を制御することができるようになります。	でも トランジスタは スイッチじゃ ないですよ 「まあ まあ そう あせらずに」
9　しかし，この場合は，前章で学習したような連続的な負荷の制御はできません。 負荷が駆動されるか，されないかという単純な制御になります。 スイッチがONになる　⇨負荷が駆動される。 スイッチがOFFになる⇨負荷が駆動されない。 このような制御のことを，負荷をON，OFFする制御ということで，**ON－OFF制御**といっています。 	フン フン
10　ところで，いままでトランジスタにスイッチのような働きをさせることができれば，という仮定の形で話を進めてきましたが，実は本当にトランジスタを用いてスイッチと同じような動作をさせることができるのです。 そこで次に，どのようにすればトランジスタにスイッチのような働きをさせることができるのかを，すこし考えてみましょう。	ハイ 考えましょう
11　トランジスタのスイッチング作用 この回路は，エミッタに抵抗がはいっていませんから，h_{FE}の値によってコレクタに流れる電流がバラついてきます。 しかし，あえてこうしておいて，入力の電圧を非常に低くしたり高くしたりすると，トランジスタのコレクタ・エミッタ間がスイッチと同じような動作をするようになります。 	ベースにつけた抵抗は，入力電圧を 高くしたとき，ベース電流が 流れ過ぎて，トランジスタが 破損するのを，防止するためのものです

12 まず，図の回路に入力電圧を加えたときの動作をみておきましょう。  ① 入力電圧を0〔V〕からしだいに上昇していくと，0.6〔V〕程度まではI_BもI_Cも流れません。 ② やがて0.7〔V〕近くなってくると，この回路にはエミッタ抵抗がはいっていないのでI_Bが急激に増大し，同時にI_Bのh_{FE}倍のコレクタ電流I_Cが流れます。 ③ そして，さらに入力電圧を上昇させると，I_Bは増加しますが，I_Cの値は $\frac{V_{CC}}{R_L}$ 以上にはなりません。	なぜ $\frac{V_{CC}}{R_L}$ なぜ $\frac{V_{CC}}{R_L}$ 以上にならないのですか？ 「トランジスタは$I_B \cdot h_{FE}$のコレクタ電流を流そうとするのですが，R_Lが$\frac{V_{CC}}{R_L}$以上の電流を流させないのです」
13 すなわち，入力電圧が0.6〔V〕以下では図aのようにコレクタ電流は＿＿＿。  （図 a） 次に，入力電圧を上昇させていって，0.7〔V〕程度になると図bのようにコレクタ電流I_Cが流れ始め，さらに入力電圧を上昇させると，I_Cの値は図cのように，負荷回路によって定まる $\frac{V_{CC}}{R_L}$ の値になってしまいます。  （図 b） ここで，入力電圧が低く，I_Cが流れない状態をしゃ断状態といい，また入力電圧が高く，$\frac{V_{CC}}{R_L}$ のコレクタ電流が流れる状態を飽和状態といっています。  （図 c）	流れません。 トランジスタのC・E間が断線したようになっている状態をしゃ断状態。トランジスタがもっとI_Cを流そうとしているのに，その電流を供給できない状態を飽和状態というわけですね 「そういうこと」

14　いま考えた三つの状態のうち，入力電圧を低くしてトランジスタをしゃ断状態にしたときと，入力電圧を高くしてトランジスタを飽和状態にしたときとの二つの状態だけに着目すると，結局，トランジスタはこの二つの状態でスイッチのＯＦＦとＯＮの状態を実現していることになります。

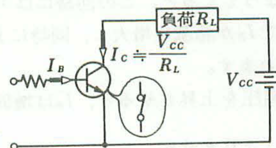
(1)　入力電圧が0.6〔V〕以下の状態

$I_C=0$ ⇨スイッチＯＦＦ



(2)　入力電圧が大きく，トランジスタが飽和している状態

$I_C \doteqdot \frac{V_{CC}}{R_L}$ ⇨スイッチ＿＿＿＿



「トランジスタがちょうどスイッチと同じような働きをしているでしょ」

なーるほど

ＯＮ

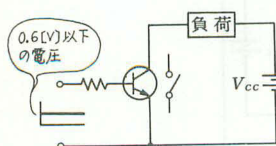
15　つまり，いままでのようにベースに連続的な入力を加えるのではなく，I_Cを流さないような電圧か，またはトランジスタを飽和させるような電圧のいずれかだけを加えるようにすれば，トランジスタは＿＿＿＿＿と同じような動作をするようになるわけです。

トランジスタにこのような動作をさせることをスイッチング動作をさせるといいます。

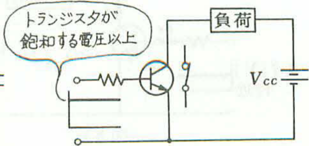
スイッチ

ナルホド

「トランジスタがスイッチのように見えてきたかな」



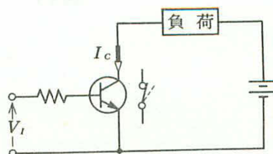
(図ａ)　スイッチＯＦＦ



(図ｂ)　スイッチＯＮ

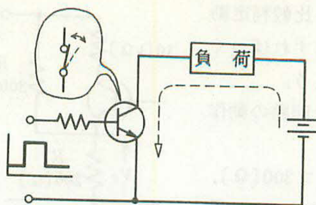
16　トランジスタのスイッチング動作は，負荷を制御する場合だけでなく，いろいろな使い方をしますから，ここでスイッチング動作のさせかたをしっかりと理解しておいてください。

スイッチＯＦＦ⇨I_Cが流れないような電圧V_Iを与える。
スイッチＯＮ　⇨I_Cが飽和するような電圧V_Iを与える。



エミッタ回路に抵抗がない場合は，基本的にはスイッチング動作をさせていると考えればいいのです。エミッタ回路に抵抗がなければ，h_{FE}によって，I_Cがバラついてしまうので，増幅器としては，使用できません。

17 すなわち，図のような回路で，いままでのようにベースに連続的な入力を加えるのでなく，高い電圧か，または低い電圧かのいずれかだけを加えるようにすると，トランジスタはスイッチのような働きをして，負荷をＯＮ－ＯＦＦ制御できるようになるのです。



このような動作をさせる回路をＯＮ－ＯＦＦ制御回路といっています。

高い電圧→ スイッチ ON
低い電圧→ スイッチ OFF
ですネ

「そういうこと」

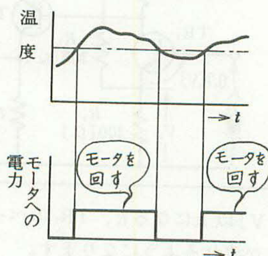
18 このようにするとトランジスタでの消費電力は少なくなり，放熱板なしでもかなりの負荷を制御できるようになります。

ただし，負荷に対しては電流を流すか，流さないかという二つの制御しかできません。

しかし，このような制御方法も，すこしくふうするとじゅうぶんに利用価値のあるものになります。

「次のフレームへ　どうぞ」

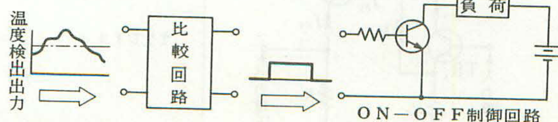
19 たとえば，温度を検出してモータを制御するという場合，ある温度に達するとモータを回し，それ以下の温度になるとモータを止めるというような動作をさせると，じゅうぶん実用的なものとなります。



ナルホド
ナルホド

20 すなわち，温度を検出し，電圧増幅した出力とＯＮ－ＯＦＦ制御回路との間に，ある一定の電圧レベル以上の入力がはいると大きな電圧出力を出し，またそのレベル以下になると出力がほぼ０となるような回路をつけ加えるといいわけです。

つまり，図のように一定の電圧レベル以上になれば高い電圧出力を出し，また，その電圧レベル以下になれば低い電圧を出すというような比較判定の動作をする比較回路をつけ加えるのです。

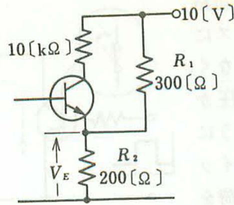


フン フン
・一定温度以上になる
↓
高い電圧がでる
↓
負荷が駆動される

・一定温度以下になる
↓
低い電圧になる
↓
負荷が駆動されない
というわけですね

21　では次に，このような比較判定動作をする回路はどのようにすればつくれるのかを考えてみましょう。

第4章では，図のような回路の動作を考えました。



この回路ではR_1，R_2として300〔Ω〕，200〔Ω〕が接続されていますから，電圧V_Eの値は＿＿＿＿＿〔V〕になっています。

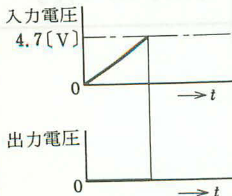
したがって，この回路では入力電圧が4.7〔V〕以上になるとトランジスタが動作し始め，増幅動作を行うようになります。

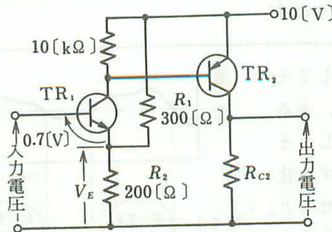
4

「覚えてますか.
これは 3章の終りで
学習していますよ」

22　では，この回路にもう一つトランジスタを加えて，この回路の出力をさらに増幅すると，どのようになるでしょうか。

まず，V_Eの値が4〔V〕ですから，入力電圧が4.7〔V〕以下のときはTR_1もTR_2も動作せず，出力電圧も0〔V〕となっています。





ウーム

「TR₁が動作しなければ、
10kΩ両端の電圧は 0(V)
ですから、動作しないでしょ」
「TR₂が動作しなければ、
Rc2での電圧降下が 0で
出力電圧も 0 になります」

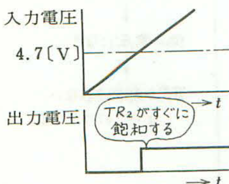
フン フン

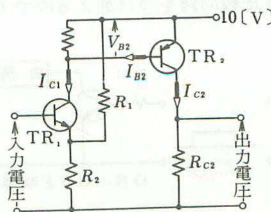
23　次に，入力電圧が4.7〔V〕以上になると，TR_1のベース電流が流れ始め，コレクタ電流I_{C1}が流れるようになります。

そして，I_{C1}が増加し，V_{B2}が0.7〔V〕以上になると，I_{B2}が流れ始め，TR_2のコレクタには増幅された大きな電流I_{C2}が流れるようになります。

つまり，I_{C1}が流れ始めると，この電流はTR_2で増幅されてI_{C2}は急激に増加し，R_{C2}での電圧降下（出力電圧）も急激に増加するわけです。

そして，TR_2はすぐに飽和し，ON状態となってしまいます。





フン フン
入力電圧が 4.7(V)以上に
なると、すぐに TR₂がONに
なってしまう ということですね.

「そうですョ」

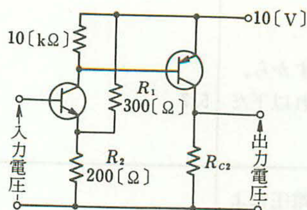
24　すなわち，図の回路は入力電圧が4.7〔V〕になると出力電圧が上昇し始め，さらにすこし上昇するとすぐにTR_2が＿＿＿＿＿状態となって，出力電圧がほぼ電源電圧10〔V〕になるという動作をします。

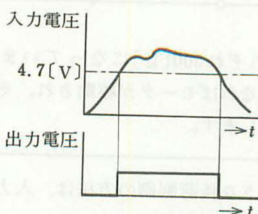
飽和

つまり，4.7〔V〕を境にして，それ以下の入力電圧なら出力はほとんど0〔V〕となり，それ以上の入力電圧なら約10〔V〕の出力を出すという比較判定動作をするようになるわけです。

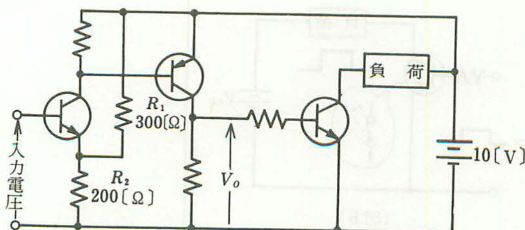
フン　フン

なるほど





25　したがって，この比較回路の後段に図のようにＯＮ－ＯＦＦ制御回路を接続しておくと，負荷をＯＮ－ＯＦＦ制御することができるわけです。



(1)　入力電圧が4.7〔V〕以上になればV_oが約(ア)＿＿＿＿＿〔V〕となり，負荷が駆動されます。

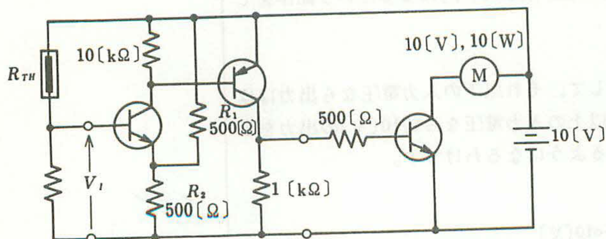
(ア)　10

(2)　入力電圧が4.7〔V〕以下のときはV_oが約(イ)＿＿＿＿＿〔V〕となり，負荷は駆動されません。

(イ)　0

「入力のところに検出出力を加えれば，どう　なるかな」

26　図の回路はサーミスタを用いて温度を検出し，その出力電圧を比較判定してモータをON－OFF制御させようとした回路です。



この回路ではR_1，R_2がそれぞれ500〔Ω〕になっていますから，V_1が＿＿＿＿＿〔V〕以上になればモータが駆動され，それ以下だと駆動されないという動作をします。

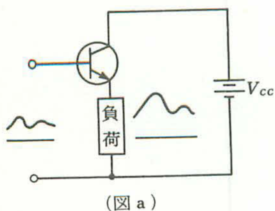
「ON，OFF制御回路あなたにも作れるようになりましたか」

なんとかわかってきたような気がするぞ！

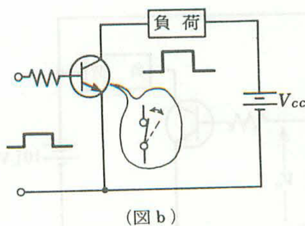
5.7

27　前章で学習した図aのような負荷制御の方法は，入力電圧によって連続的に負荷を制御させるやり方でした。

しかし，図bのように，トランジスタにスイッチング動作をさせ，ON－OFF制御をさせるようにすると，連続的に負荷を制御させることはできませんが，トランジスタでの消費電力を非常に少なくできるので熱発生をおさえられ，大きな放熱板をつけたりせずに負荷を制御できます。



（図a）



（図b）

小電力の場合ならば，いままでのような電力増幅回路を使うのですが，大きな負荷を制御しようという場合には，一般にこのような方法がとられています。

また，機能的にもこのような制御方法のほうがよい場合もあります。

「ここで一段落つきましたので，休憩にしましょう」

ハーイ

28 いままでの学習でON－OFF制御とはどのようなものか，またどのようにすればON－OFF制御をかけることができるのかということが理解できたと思います。

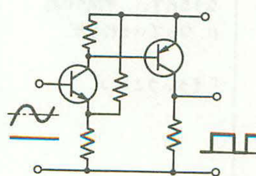
ところで，いままでの比較回路には一つ問題点があります。

ワー
また 問題点か

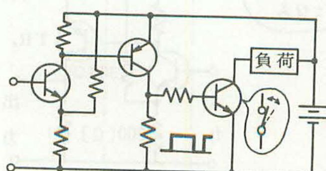
「まあ そういわずに……
休憩したでしょ 」

29 これまでの学習では，図aのような比較回路を用いると，入力電圧がある電圧レベル以下のときは出力電圧が約0〔V〕となり，それ以上のレベルのときはほぼ電源電圧に等しい値の出力が出ると考えてきました。

ですから，その出力を図bのようにON－OFF制御回路に加えると，うまく負荷を制御することができました。



(図a)



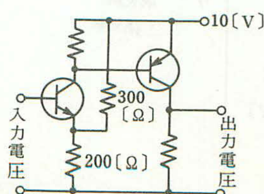
(図b)

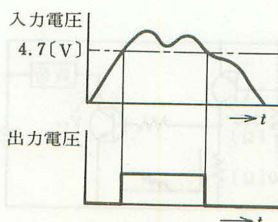
フン フン
何か問題なのかな

「次のフレームへ
どうぞ」

30 しかし，実際にはこの比較回路では，後段のON－OFF制御回路をうまく働かせることができない場合があります。

たとえば，図の回路の場合には，入力電圧が4.7〔V〕以上になると出力が約10〔V〕となり，それ以下の入力電圧だと出力はほぼ0〔V〕になると考えていました。

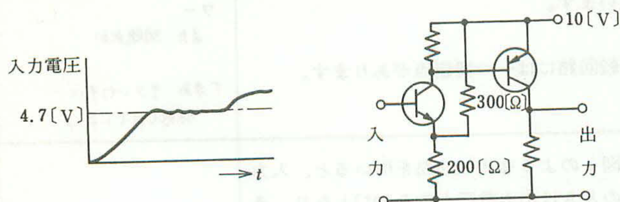




何か 思わせぶりだなァ

「問題点が
わかるかな」

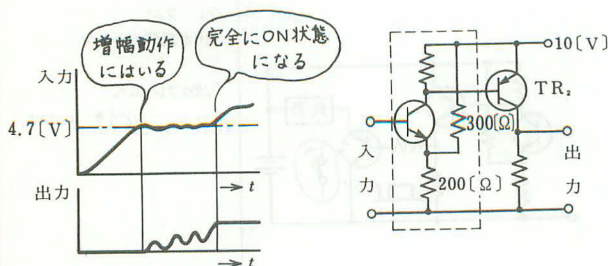
31　ところで，この回路に図のように，4.7〔V〕付近の状態が続く入力電圧を加えると，どのような出力が現れるでしょうか。



4.7〔V〕以上か，以下かで判定動作をするわけでしょ

「実はそうならないのです」

32　この回路は，単に破線部の増幅器出力をさらに増幅しただけの回路ですから，このように4.7〔V〕付近の入力電圧を加えると，出力電圧は図のように，高い電圧でもなく，またほぼ0〔V〕の低い電圧でもない増幅出力が出るようになります。

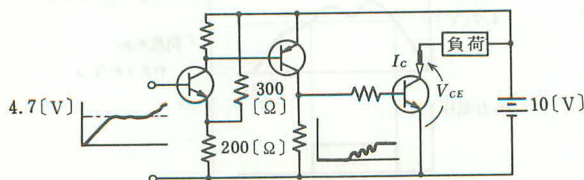


なるほど
TR₂がONか，OFFになりきれずに，中間の状態に，なっているわけだ。

「そういうこと」

33　このような出力が出るようになると，次段のON－OFF制御回路のトランジスタはスイッチング動作ができなくなり，図のようにコレクタ電流I_Cも流れ，かつV_{CE}も発生するという動作をするようになります。

こうなると，単にON－OFF動作をさせることができないだけでなく，トランジスタでの電力消費が大きくなり，トランジスタが焼損してしまいます。

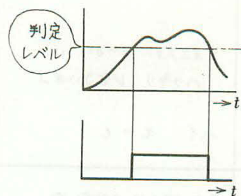


ワー　消火班
消火班

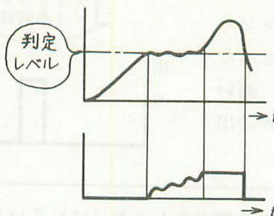
34 すなわち，いままで学習してきた比較回路では，図aのように入力電圧が比較判定レベルを非常に速く通過した場合はよいのですが，図bのように判定レベル付近に長くとどまるときは問題があるのです。

中途半端は イヤって わけですね.

「スイッチング回路ではネ」



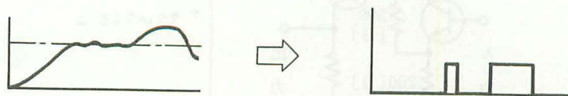
(図a)



(図b)

35 したがって，ON−OFF制御回路を確実に動作させるためには，たとえ図のように判定レベル上で非常にゆるやかに変化する入力電圧を加えても，出力には高い電圧か，またはほぼ0〔V〕の低い電圧かの，いずれかの出力だけを出すような比較回路が必要になります。

このような比較判定動作をする回路を，シュミット・トリガ回路といっています。

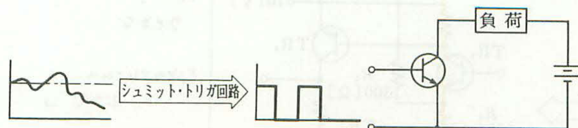


「のどもと 過ぎれば 熱さ わすれる じゃ ダメ なわけですよ」

ハイ わかりました

36 連続した入力信号電圧によって負荷を確実にON−OFF制御するには，中間の値をもたない信号電圧をつくるための＿＿＿＿＿＿回路が利用されています。

シュミット・トリガ

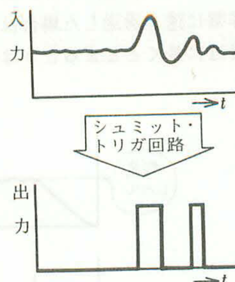


そこで，次にはこのようなシュミット・トリガ回路について学習していきましょう。

「シュミットとは 発明者の名前 ですよ」

37 シュミット・トリガ回路

シュミット・トリガ回路とは，比較回路の一種で，図のように入力には連続的な信号がはいってきても，出力には後段のトランジスタにON－OFF動作をさせるために，中間の値をもたない，高い電圧か低い電圧かのいずれかの出力を出すという回路です。



「イエスか　ノーか　ハッキリ　しなさいヨ」

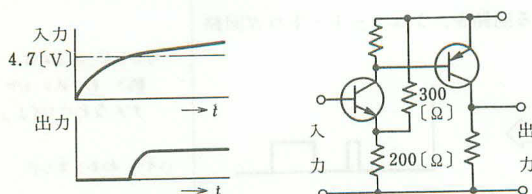
ハイ　えーと

38 シュミット・トリガ回路の構成のしかたにはいろいろな方法がありますが，ここではさきほどの比較回路を応用したものについて学習しておきましょう。

「オペアンプを活用した方法についても　のちに学習します」

39 図の回路はさきほど学習した，4.7〔V〕以上の入力がはいると出力に高い電圧を出すという比較回路です。

すでに述べたとおり，このままの回路では，図のように入力電圧が4.7〔V〕付近をゆっくり上昇したときは，出力電圧も図のようにゆっくり上昇するようになります。

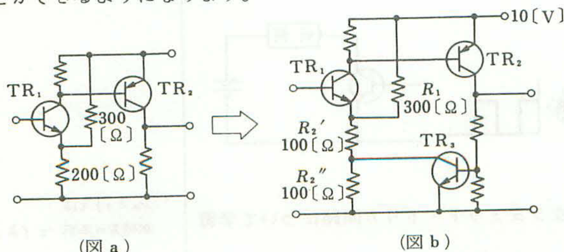


ハイ　ハイ　中途半端になるわけでしょ

「そういうこと」

40 そこで，この回路にトランジスタをもう一つ加えて，図bのように接続するとどのようになるでしょうか。

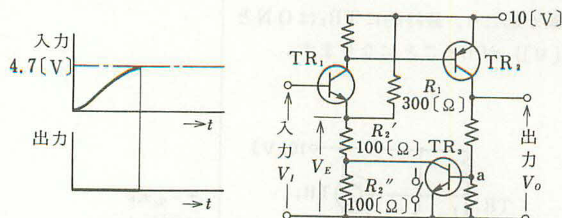
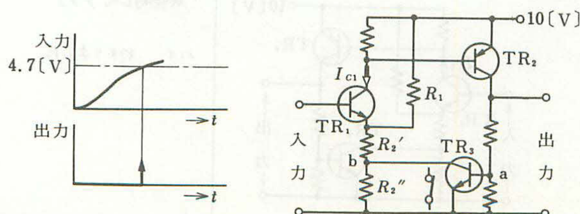
実は，このようにすると中間の出力を出すことのない動作をさせることができるようになります。



（図 a）　（図 b）

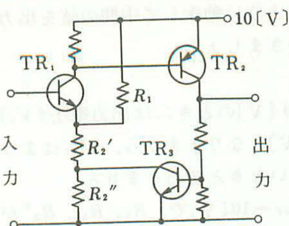
へー！　なぜかな

「次のフレームへ　どうぞ」

41 では，この回路がどのように動作して中間の値を出力しなくなるのかを，順序よくみていきましょう。 まず，入力電圧（V_I）が0〔V〕のときには出力電圧（V_O）も0〔V〕となり，点aの電位も0〔V〕となりますから，TR_3はまったく動作せず，TR_3を接続していないときと変わりません。 そして，図の回路では$V_{CC}=10$〔V〕で，R_1，R_2'，R_2''がそれぞれ300〔Ω〕，100〔Ω〕，100〔Ω〕ですから，V_Eの値は＿＿＿＿〔V〕となっており，入力電圧が4.7〔V〕以下であれば出力電圧はやはり0〔V〕となります。 	「ここからは，あせらずに回路図で，確認しながら読んで下さいョ」 4
42 では，入力電圧が4.7〔V〕付近まで上昇してくると，どのようになるでしょうか。 この場合は，つぎのような動作をします。 (1) 入力電圧が4.7〔V〕をすこし上昇すると，出力電圧も上昇し，点aの電位も高くなってTR_3がONになり始めます。 (2) TR_3がONになり始めると，R_2''が短絡される方向に働きますから，点bの電位が{(ア) 上が／(イ) 下が}ります。 (3) 点bの電位が下がると，TR_1のエミッタの電位も下がる方向に働きますから，TR_1のベース電流が{(ウ) 増加／(エ) 減少}し，TR_1のコレクタ電流I_{C1}が増加します。 (4) すると，出力電圧はさらに上昇します。 	(イ) 下が (ウ) 増加 「(2)の内容がわかりますか，別の言いかたをすれば，次のようになります． 点aの電位上昇 ↓ TR₃のI_C増加 ↓ R_2''での電圧降下減少 ↓ 点bの電位低下」

43　さて，入力電圧が4.7〔V〕近くまで上昇したときの出力電圧はどのようになりましたか。

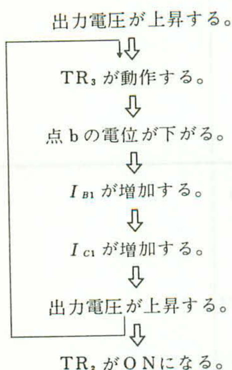
入力電圧が4.7〔V〕近くまで上昇し，出力電圧が上昇し始めると，TR_3を通じて，さらに出力電圧が＿＿＿＿＿＿していくようになりましたね。

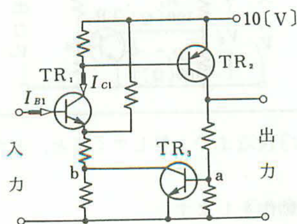


「前フレームの
まとめですよ」

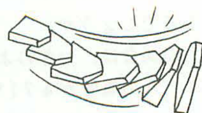
上昇（または増加）

44　つまり，図のようにTR_3を接続しておくと，出力電圧が上昇し始めるとともにつぎのような現象が起こり，最終的にTR_2はONとなり，出力には高い電圧（約10〔V〕）が出ることになります。





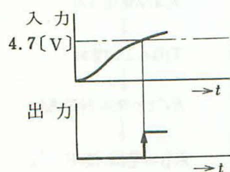
ナールホド
将棋倒し式に
動作をするわけですね

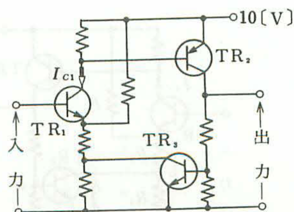


「ホー　うまく　いうね」

45　すなわち，TR_3を図のように接続しておくと，どんなにゆっくりと入力電圧が上昇しても，入力電圧が4.7〔V〕程度になると出力電圧が上昇し始め，TR_3が動作して自動的にさらにI_{C1}を増加させる方向に働き，出力電圧が高い電圧になってしまうわけです。

こうして出力電圧が中間の値をとることはなくなり，シュミット・トリガ動作をするようになります。

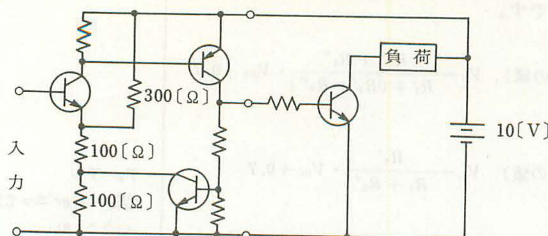




「将棋倒し式　ダヨ」

ハイ　　わかりました

46　したがって，この回路の出力にＯＮ－ＯＦＦ制御回路を接続しておくと，確実にＯＮ－ＯＦＦ制御を行わせることができます。



フン　フン

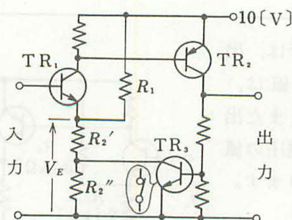
中途半端で止まることはないわけだ

47　さて，このシュミット・トリガ回路は，すこし変わった特性をもっています。

つまり，こうして出力電圧が高い電圧値（約10〔V〕）を出すようになってしまうと，こんどは入力電圧を4.7〔V〕以下の値にしても，出力電圧がもとの約0〔V〕にはもどらなくなってしまうのです。

図の回路で出力電圧が高くなり，TR_3がＯＮになっている状態では，R_2''がTR_3によって短絡された形になって，V_Eの値がつぎのようになっています。

$$V_E=\frac{R_2'}{R_1+R_2'}V_{CC}$$

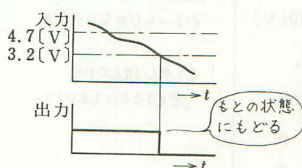


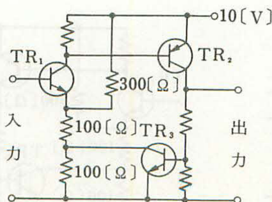
この値を前フレームの定数で計算すると＿＿＿＿〔V〕となります。　2.5

ナルホド
V_Eの値が変ってしまっているわけか
「そういうこと」

48　したがって，TR_1がＯＦＦ状態となるのは，入力電圧が4.7〔V〕以下でなく3.2〔V〕以下まで下がったときになります。

つまり，この回路では，入力電圧が3.2〔V〕以下になればTR_1がＯＦＦとなり，TR_2，TR_3もＯＦＦとなって，出力電圧がもとのほぼ0〔V〕にもどることになります。



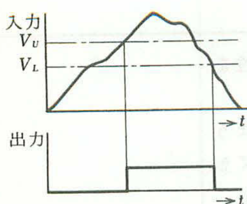


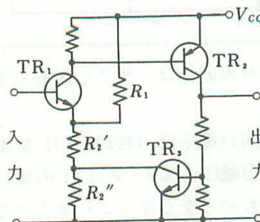
「出力電圧を再び高くするには，入力電圧をまた4.7〔V〕以上にする必要があります」

49　つまり，図の回路において，出力電圧が高い状態（H）になるとき，または低い状態（L）にもどるときの入力電圧の値は，それぞれつぎのようになるわけです。

(出力がHになるときの入力の値)　$V_U=\dfrac{R_2'+R_2''}{R_1+(R_2'+R_2'')}\cdot V_{CC}+0.7$

(出力がLにもどるときの入力の値)　$V_L=\dfrac{R_2'}{R_1+R_2'}\cdot V_{CC}+0.7$



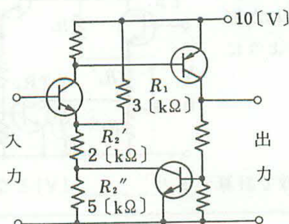


アレ アレ
判定レベルが 二つできると
いうことか

「そういうこと
HやLは
High(高い)，Low(低い)
の略ですよ」

「行きと帰りが
ちょっと違うんですョ」

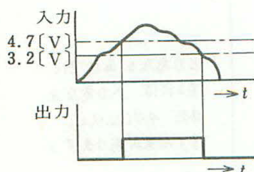
50　たとえば，図の回路では，出力をHにする入力電圧の値は，(ア)＿＿＿＿〔V〕となり，また出力をLにするときの入力電圧の値は(イ)＿＿＿＿〔V〕となります。

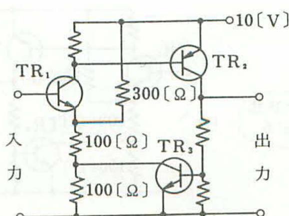


(ア)　7.7

(イ)　4.7

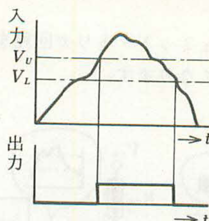
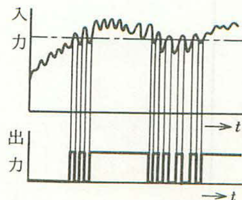
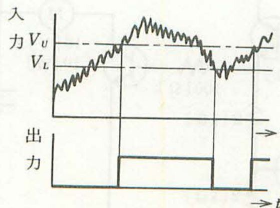
51　すなわち，図のように回路を構成すると，中間の出力を出さなくなるかわりに，出力電圧がLからHになるときの入力電圧の値と，出力電圧がHからLにもどるときの入力電圧の値とが異なる動作をするようになります。

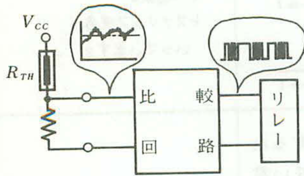
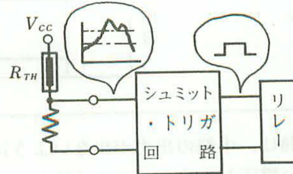
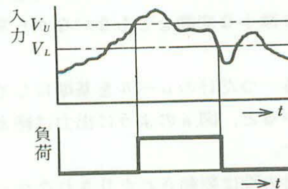
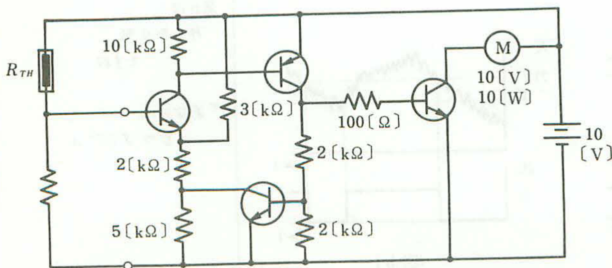


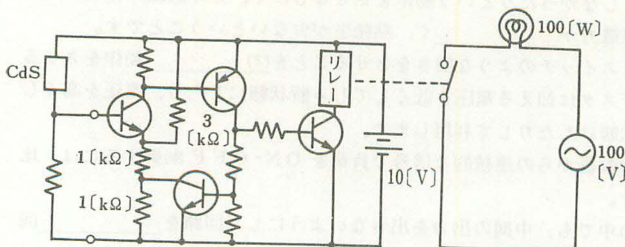


フン フン
でも こうなると
比較回路としては，都合がわるいんじゃないかなあ

「もう少し進んでから
考えることにしましょう」

52 つまり，シュミット・トリガ回路は，基本的には比較判定動作をする回路なのですが，中間の出力をなくすために，図のように出力をHにするレベルと，出力をLにするレベルとが別々に現れるような動作をするわけです。  この点が，一般にいわれる比較回路とは異なるシュミット・トリガ回路特有の特性なのです。	「この現象をヒステリシス現象といっていますヨ」
53 シュミット・トリガ回路は，中間の出力が出ないようにするために，このように出力に高い電圧Hを出すレベル（V_U）と，低い電圧Lを出すレベル（V_L）の，二つの判定レベルをもつような動作をします。	わかりました
54 ところで，この特性が，実は制御動作をさせるうえでもつごうのよい場合があるのです。 たとえば，温度などを検出してくる場合，その検出出力をこまかく見ると，つぎのようにかなり微小な変動をともないながら変化しています。 このようなとき，回路がある一つだけのレベルを基準にして，出力にHとLを出す動作をしていると，図aのように出力は絶えずこまかく変動するようになります。 すると，それにともなって出力段は駆動されたりされなかったりという意味のない変動を続けるだけでなく，機器の寿命を短くする原因にもなります。 しかし，図bのようにV_UとV_Lの二つのレベルで動作するようにすれば，入力の変動に影響されない安定した動作を行うようになります。  （図a）  （図b）	図aは…神経過敏型，図bは…ゆったり型ですね 「あなたはどのタイプ」

55　たとえば，検出してきた温度でリレーを働かせようという場合などでも，図aのような回路構成で動作させていると，リレーの接点が無意味にONとOFFを繰り返し，リレーの寿命が非常に短くなってしまいます。 ところが，図bのようにシュミット・トリガ回路を入れて動作させると，このようなことがなくなります。  （図a）シュミット・トリガ回路を用いないとき  （図b）シュミット・トリガ回路を用いたとき	ナルホド ナルホド 「このようなことから，リレーなどを駆動する場合は，ほとんどといってよいほど，シュミットトリガ回路が用いられています」
56　また，出力をHにするレベルと，出力をLにするレベルを積極的に利用すると，どの入力電圧レベルで負荷を駆動し，どの入力電圧レベルで負荷をOFFにするかという設定が，自由にできるようになります。   	でも一つのレベルにすることは，できないわけでしょ 「長所を伸ばそうョ」
57　図の回路は，温度検出器からの出力電圧が(ア)＿＿＿＿〔V〕以上になるとモータを駆動し，約(イ)＿＿＿＿〔V〕以下になるとモータを停止させるというON－OFF制御回路です。  	(ア)　7.7 (イ)　4.7 わかりますネ

58 また，図の回路は CdS で明るさを検知し，その出力電圧が 4.7〔V〕以上になるとリレーを働かせてランプを点灯し，＿＿＿〔V〕以下になるとランプを消灯するという回路の一例です。  	3.2 リレーを使って，100〔V〕のランプを駆動しているわけですね 「そうです」
59 さて，ＯＮ－ＯＦＦ制御回路とシュミット・トリガ回路の動作は理解できましたか。 これで電子制御の基本となるトランジスタを用いた制御については，学習を終わります。 次章からは，第二段階の学習として，トランジスタ以外の半導体素子を用いた制御について学習していきましょう。	「どうもご苦労さんでした．これからはトランジスタもようしくネ」

練習問題

1　つぎの文章の＿＿＿＿＿の中に適する言葉を入れ，文章を完成しなさい。

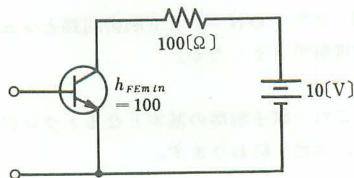
(1)　ON-OFF制御回路とは，トランジスタにスイッチのような働きをさせて，負荷を駆動したり，しなかったりという動作をさせるもので，この回路の特徴は，トランジスタの消費電力が＿＿＿＿＿く，熱発生が少ないということです。

(2)　トランジスタにスイッチのような働きをさせることを(ア)＿＿＿＿＿動作をさせるといい，トランジスタに加える電圧を低くしてしゃ断状態にしたり，電圧を高くして(イ)＿＿＿＿＿状態にしたりして利用します。

(3)　検出器や電圧増幅器からの連続的な信号で負荷をON-OFF制御するには，比較回路が必要です。

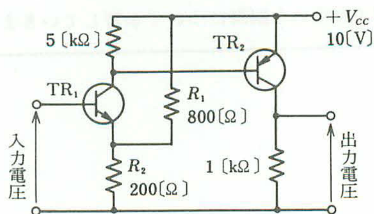
この比較回路の中でも，中間の出力を出さないようにした回路を＿＿＿＿＿回路といっています。

2　図の回路でトランジスタをONにするためには，ベース電流をいくら以上流す必要がありますか。



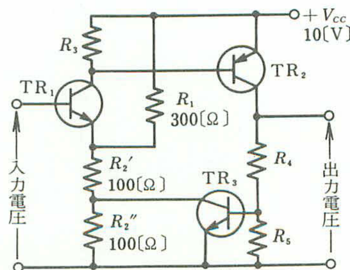
3　図は比較判定動作をさせようとした回路ですが，入力電圧が何ボルト以上になれば出力にほぼ10〔V〕の電圧が出るようになりますか。

また，この回路で判定レベルを5.7〔V〕にするには，R_2の値をいくらにする必要がありますか。



4　図はシュミット・トリガ回路です。

この回路で出力電圧を高くする入力電圧の値 V_U，および出力電圧を低くする入力電圧の値 V_L は，それぞれいくらになりますか。



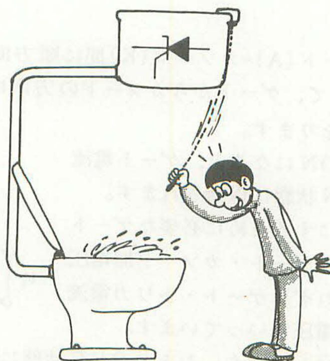
6. サイリスタとON-OFF制御

学習の目標

1. トランジスタによるON-OFF制御の欠点を知り，サイリスタによるON-OFF制御の特徴を学習する。

2. サイリスタとはどのようなものかを知り，SCRとトライアックを用いたON-OFF制御の方法について学習する。

(1) SCRやトライアックとは，どのようなものか。
(2) SCRやトライアックをどのように活用すればON-OFF制御ができるのか。
(3) SCRやトライアック回路の各定数はどのように設定すればよいのか。



学習の概要

1．サイリスタ

サイリスタとは電力制御用の半導体スイッチング素子のことで，その中にはつぎのようなSCRやトライアックと呼ばれているものがあります。




SCR



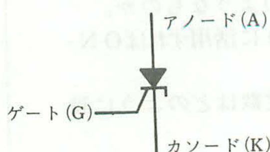

トライアック

2．SCR

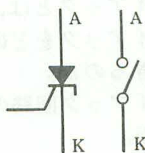
(1)　SCRとは，半導体スイッチング素子の一種で，図aのような図記号で示され，アノード(A)，カソード(K)，ゲート(G)という3本の端子をもっています。

そして，図bのようにAK間がスイッチの接点の働きをします。

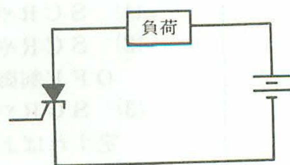
(2)　したがって，図cのように電源と負荷とSCRのA—K間を接続しておくと，SCRをON，OFFさせることによって負荷をON-OFF制御することができるようになります。



(図a)　SCRの図記号



(図b)



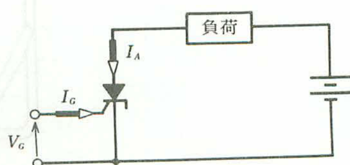
(図c)

3．SCRの動作

(1)　SCRはアノード(A)-カソード(K)間に順方向電流が流れるように電源電圧V_{CC}を加えておいて，ゲートからカソードの方向にゲート電流を流せば，AK間がONの状態になります。

そして，一度ONになると，ゲート電流を0にしてもON状態は保持されます。

(2)　SCRをONにするために必要なゲート電流 I_G の値と，ゲート・カソード間電圧 V_G の値を，それぞれゲート・トリガ電流，ゲート・トリガ電圧といっています。

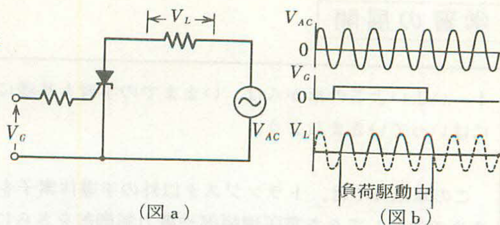


(3)　SCRをONにしたのち，もとのOFF状態にもどすには，アノード端子に流れている電流（I_A）をある値以下にする必要があります。

この電流値を保持電流といっています。

4．SCRによるON-OFF制御

図aのように交流電源を用いた回路にゲート・トリガ電圧を加えると，図bのような動作をして負荷をON-OFF制御できます。

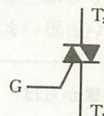


（図a）　（図b）

5．トライアック

トライアックは，図のような図記号で示され，T_1，T_2，Gの3本の端子をもっています。

そして，T_1T_2間がスイッチの接点の働きをします。

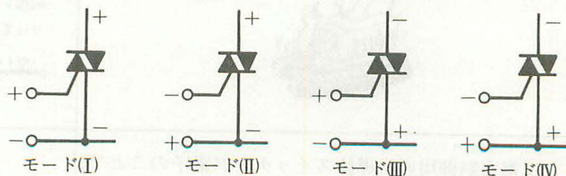


6．トライアックの動作

(1) トライアックはT_1T_2間に電圧が加わっていれば，その極性に関係なく，ゲート・トリガ電圧を加えることによってONにすることができます。

そして，このゲート・トリガ電圧の極性にも制約はありません。

(2) トライアックをONにする状態にはつぎの四つがあります。



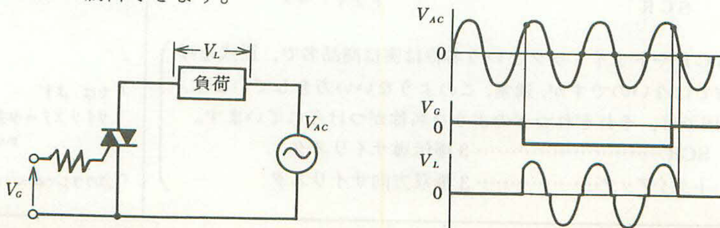
(3) しかし，ここでモード(III)については，ゲート感度に不安定さがあるため，一般には使用しないようにしています。

(4) そこで，電源に交流電圧を用いる場合には，ゲート・トリガ電圧には一般に負の極性の電圧を加えるようにしています。

(5) トライアックをONにしたのち，もとのOFF状態にもどすには，T_1T_2間に流れている電流を保持電流値以下にする必要があります。

7．トライアックによるON-OFF制御

図aの回路にゲート・トリガ電圧 V_G を加えると，図bのような動作をして負荷をON-OFF制御できます。



学習の展開

1　いよいよこの章からは，いままでの学習を基礎にして第二段階にはいっていきましょう。

この章以降では，トランジスタ以外の半導体素子を応用して，いままで学習してきた電圧増幅部や電力制御部をさらに充実することを考えていきたいと思います。

「さあ　いよいよ 第2段階 ですよ」

2　まず，この章からは，サイリスタ（Thyristor）と呼ばれている半導体素子を用いた電力制御について学習しましょう。



「8章までは，サイリスタを応用した 電力制御について学習していきます」



3　サイリスタとは電力制御用の半導体スイッチング素子のことで，その中にはつぎのようなSCRやトライアックと呼ばれているものがあります。





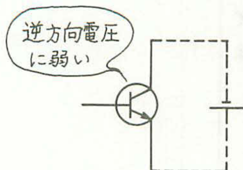
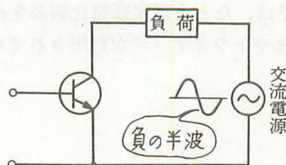
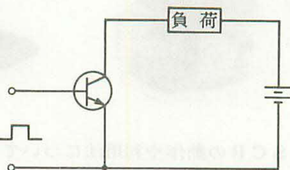
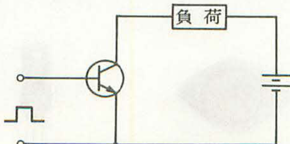


SCR　　　　トライアック

（SCRやトライアックという名称は実は商品名で，正式な呼び方ではないのですが，通常，このようないい方をしています。
JISでは，それぞれつぎのような名称がつけられています。
SCR……………………… 3極伝導サイリスタ
トライアック……………… 3極双方向サイリスタ）

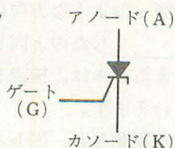
「では まず サイリスタの必要性 からだヨ」

「次のフレームへ どうぞ」

4　これまで負荷をON－OFF制御する場合，スイッチの働きをさせる素子としてトランジスタを用いて学習してきました。 しかし，負荷をON－OFF制御するためのスイッチング素子としては，トランジスタにはすこし不便な点があります。	さて　どういうことかな 「次のフレームへ　どうぞ」
5　その一つは，トランジスタを交流電源で動作させることができないということです。 トランジスタは，図aのような逆方向の電圧には非常に弱いという性質をもっています。 そのため，たとえば図bのように正弦波交流を電源に用いようとしても，{(ア) 正 / (イ) 負}の半波があるために使用できません。  （図a）  （図b）	(イ) 負 ナルホド それで今まで 交流電源を使用しなかった わけですね 「そういうこと」
6　もう一つは，すでに学んだように，トランジスタにスイッチング動作をさせるためには，図のように入力信号として，中間の値をもたない高い電圧(H)か低い電圧(L)かのいずれかの信号を加えなければなりません。  中間の電圧を加えると，トランジスタはスイッチング動作ができなくなってしまいます。	つまり シュミット・トリガ回路を 必要としたというわけでしょ 「そういうこと」
7　すなわち，トランジスタを用いて負荷をON－OFF制御しようとすると，交流電源が使えないということや，入力にHかLかのいずれかの電圧しか加えてはいけないという不便な問題があるわけです。  	「トランジスタによる ON，OFF制御の欠点 ですよ」 ハイ　よく　わかりました

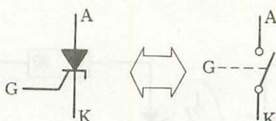
8　そこで，これらの不便な点を解消したスイッチング動作専用の半導体素子として，これから学ぶSCRやトライアックなどがあるわけです。	
9　SCRやトライアックを用いると，100〔V〕の交流電源で働かせることができます。 また，SCRやトライアックはスイッチング動作専用素子のため，負荷をON－OFF制御する場合，トランジスタにスイッチング動作をさせるときのようにあえてHやLの信号電圧をつくる必要はありません。 したがって，電源として直接，家庭用の100〔V〕の電源が利用でき，しかもシュミット・トリガ回路なども不要になります。	何か 便利そうな感じが するぞ 「しっかり 勉強して 下さいヨ」 ハーイ
10　このようなことから，現在では，たとえば家庭電化製品をみても，いろいろな製品にこのSCRやトライアックが利用されています。 それではまず，具体的にSCRの動作や利用法について学習していきましょう。	
11　**SCR** SCRとは，シリコン制御整流器（Silicon Controlled Rectifier）の略で，つぎのようにいろいろな形をしたものがあります。	整流器（ダイオード）の 一種なんですか？ 「まあ ネ」

12　そして，これらはそれぞれアノード(A)，カソード(K)，ゲート(G)と呼ばれる3本の端子をもっており，つぎのような図記号で表示されています。



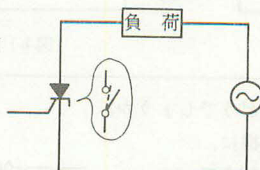
「ダイオードに よく似た 図記号でしョ」

13　ここでアノード(A)とカソード(K)間がスイッチの接点の働きをし，ゲート(G)端子がその接点を制御する働きをします。



「図記号と 名前を 覚えて下さいョ」

14　したがって，図のようにSCRの (ア) ─ (イ) 間を負荷と電源に接続しておいて，G端子を操作すると，SCRのスイッチング動作によって負荷をON－OFF制御できるようになります。



(ア)　アノード(A)
(イ)　カソード(K)

15　それではこれから，具体的にSCRがどのような動作をするのか，また，どのように活用していけばよいのかということを学習していきましょう。

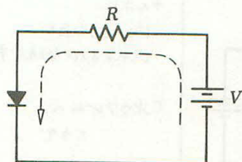
16　**SCRの動作**

SCRは，ダイオードなどと同じような一種の整流器と考えると非常に理解しやすくなります。

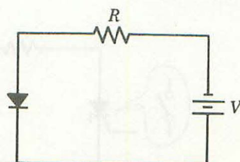
ですから，ダイオードと対比しながら，まず直流電圧を加えてその動作をみていきましょう。

ダイオードの場合は，図aのような方向に電圧を加えると，およそV/Rの値の電流が流れます。

ところが，図bのような方向に電圧を加えた場合には，電流は流れません。



(図a)

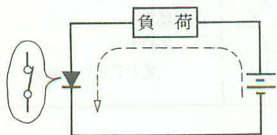


(図b)

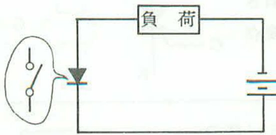
「ダイオードには 順方向と 逆方向がありましたネ」

17　すなわち，ダイオードは図aのような方向に電圧を加えた場合は，スイッチの接点を(ア)＿＿＿＿＿＿したのと同じような動作をし，図bのような方向に電圧を加えたときは，接点を(イ)＿＿＿＿＿＿したのと同じような動作をするといえます。

そして，図aの場合は負荷が駆動され，図bの場合は駆動されません。



（図a）



（図b）

(ア)　ON
(イ)　OFF

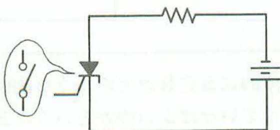
ダイオードの
スイッチング動作ですネ

「オー
　されていますね」

18　では，SCRの場合はどうでしょうか。

SCRもダイオードと同様に，図のように逆方向に電圧を加えているときは電流をいっさい流さず，常にスイッチ＿＿＿＿＿＿の状態になります。

このような方向に電圧を加えることを，**逆方向電圧**を加えるといいます。



OFF

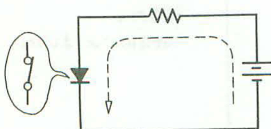
ダイオードの場合と
同じことですね.

「　そう　いうこと」.

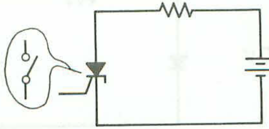
19　ところで，ダイオードの場合は，図aのように電圧を加えるとスイッチがONになった状態と同じになりますが，SCRの場合は図bのように電圧を加えても，それだけでは電流は流れません。

このような方向の電圧を加えることを**順方向電圧**を加えるといっていますが，SCRの場合は，このように順方向電圧を加えても，ただちに＿＿＿＿＿＿にはならないのです。

SCRのこのような状態を，順方向電圧がかかっているのに電流を流さないという意味で**順阻止状態**といっています。



（図a）

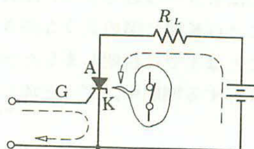
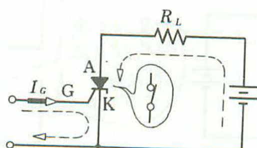
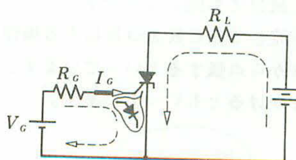
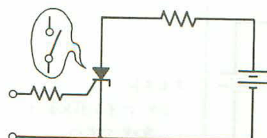
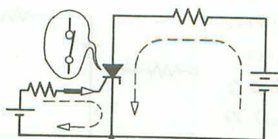


（図b）　順阻止状態

ON

ナルホド
じゃ　どうしたら
流れるようになるんですか

「次のフレームへ
　　どうぞ　」

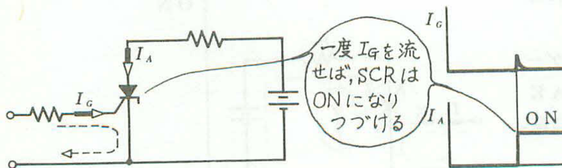
20 ではどのようにすればＳＣＲをＯＮにして電流を流すことができるのでしょうか。 実は，ＳＣＲの場合は，図のように順方向電圧を加えておいて，ゲート・カソード間に矢印の方向に電流を流すことによってＯＮの状態にすることができます。  	「いよいよ ゲート端子の 出番ですよ」
21 ＳＣＲは，図のようにＡＫ間に順方向電圧を加えただけでは，ＡＫ間が＿＿＿＿＿＿の状態にはなりません。 ＧＫ間に図のような方向にゲート電流 I_G を流すと，初めてＡＫ間がＯＮになって，負荷 R_L に電流が流れるようになるのです。  	ＯＮ
22 ＳＣＲのＧＫ間は，図のように内部的にはダイオードが構成された形になっており，図のような方向に電圧(V_G)を加えると，I_Gが流れるようになります（抵抗 R_G は，V_G によって大きな電流が流れすぎてＳＣＲが破損するのを防ぐためのものです)。 V_Gの方向が逆になると動作しませんから，注意してください。  	SCRのG-K間は ダイオードが入ったように なっているんですか 「一度 テスターでチェックして みると，すぐわかりますよ」
23 もう一度繰り返しますと，ＳＣＲは図ａのようにＡＫ間に順方向電圧を加えただけではＯＮの状態にはなりません。 図ａのように電圧を加え，さらに図ｂのように(ア)＿＿＿＿＿＿から(イ)＿＿＿＿＿＿の方向に電流を流す必要があります。  （図ａ） ＯＮにならない  （図ｂ） ＯＮになる	(ア) Ｇ（ゲート） (イ) Ｋ（カソード） 「これは 基本ですから カッチリ 覚えて下さいよ」 ハーイ わかりました

24 ところで，このSCRにはもう一つおもしろい性質があります。

SCRをONにするためにはGK間に図のような向きに電流を流さなければならないということはすでに説明しましたが，この電流I_Gは，SCRをONにしようとする期間中，ずっと流しておく必要はありません。

図のように，ONにし始めるその瞬間だけ電流I_Gを流せば，そのあとにI_Gが0となってもON状態を保ち続けるのです。

つまりSCRは，一度ONにすると，それを保持する機能があるということです。



ヘーッ I_Gを流し続ける必要はないのですか

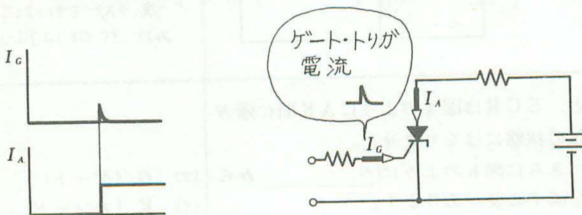
「ここが SCRの面白いところなのです」

25 つまり，SCRはAK間に順方向電圧を加えておいて，ゲートからカソード方向に瞬間的にゲート電流I_Gを流すと，AK間がONになり，そのままONの状態を続けます。

もちろん，I_Gをずっと流し続けても同じことです。

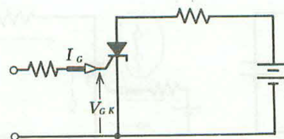
このようなことから，I_Gを流してSCRをONにする操作を，火を点火するというような意味から点弧するといっています。

また，この操作をトリガをかけるともいっています。



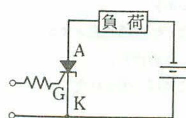
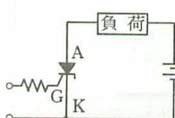
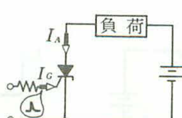
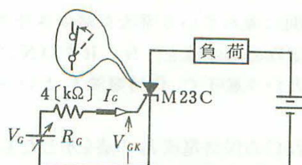
「トリガ(trigger)とは引き金 の意味があります」

26 そして，SCRをONにするために必要なゲート電流(I_G)のことをゲート・トリガ電流といい，またこの電流を流すために必要なゲート・カソード間電圧(V_{GK}) のことをゲート・トリガ電圧といっています。

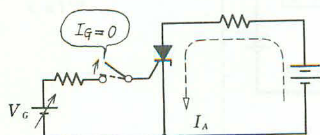
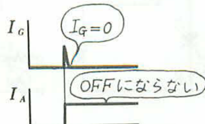
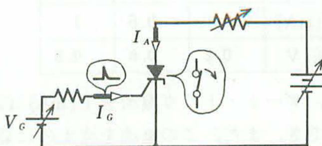


ナルホド ONにする引き金という意味ですね

「そういうこと」

27　以上でＳＣＲの基本動作については理解できたと思います。ＳＣＲをＯＮにするための条件はしっかり覚えておいてください。 ○図ａのようにＡＫ間に逆方向電圧を加えた場合は，ＯＮにならない（電流 I_A は流れない）。 ○また，図ｂのように順方向電圧を加えただけでもＯＮにならない（I_A は流れない）。 ○図ｃのようにＡＫ間に順方向電圧を加えておいて，ＧからＫの方向にゲート・トリガ電流 I_G を流せば，ＯＮになる（電流 I_A が流れる）。そして，ＯＮの状態が保持される。  （図ａ）  （図ｂ）  （図ｃ）	「トリガをかけるのに必要なゲート電流，ゲート電圧という意味ですョ」
28　なお，ＳＣＲをＯＮにするために必要なゲート・トリガ電流 I_G の値や，ゲート・トリガ電圧 V_{GK} の値などはカタログに明記されています。 つぎの表は，M23Cと呼ばれるＳＣＲの特性値です。 （表：下記） つまり，M23Cの場合は，ゲート・トリガ電流を１〔mA〕以上流せば必ずＯＮにすることができ，また，この電流を流すのに必要な電圧（V_{GK}）が最大の場合でも0.8〔V〕であるということです。	「また，ゲート・トリガ電圧の最小値が，0.2〔V〕となっているのは，この値以下のときには，絶対にＯＮにならないということです」
29　したがって，図の回路で I_G ＝１〔mA〕以上にしてＳＣＲをＯＮにするためには，R_G での電圧降下 V_{RG} および V_{GK} の値がつぎのようになりますから，入力電圧 V_G の値が＿＿＿＿〔V〕以上必要になるわけです。  R_G での電圧降下……　$V_{RG}=I_GR_G$ ＝１〔mA〕×４〔kΩ〕＝４〔V〕 ＧＫ間の電圧………　$V_{GK}=0.8$〔V〕	4.8 「大丈夫ですか」 OK　バッチリ

	min.	typ.	max.
ゲート・トリガ電流〔mA〕	—	0.6	1
ゲート・トリガ電圧〔V〕	0.2	0.6	0.8

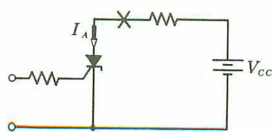
30　これまでのところで，ＳＣＲをＯＮにするにはどうすればよいかということはわかりましたね。 そこでこんどは，ＳＣＲをＯＦＦにする方法を考えてみましょう。 すぐに思いつく方法は，ゲート電流I_Gを0にしてはどうかということです。 しかし，I_Gを0にしても，いったんＯＮになったＳＣＲは，もうＯＦＦにはなりません。 ＳＣＲは定められた値以上のゲート電流I_Gを流したり，ゲート電圧V_Gを加えればＯＮになるのですが，次にもとのＯＦＦにしようとする場合，こんどはこのゲート端子を操作してもどうにもなりません。 	ナルホド 先ほどの保持機能がかかっているわけだ． これは困ったぞ． 「次のフレームへどうぞ」
31　ＳＣＲをＯＦＦにするには，実はＡＫ間に流れている電流I_Aをある値以下まで減少させる必要があるのです。 たとえば，図の回路では，可変抵抗を大きくしていくか，または電源の電圧を下げていってI_Aの値を＿＿＿＿していき，I_Aの値をある値以下にする必要があります。 	減少 フーン 元をたたなきゃダメというわけですね． 「そういうこと」
32　ここで，ＳＣＲのＡＫ間に流れている電流を減少させていって，もとのＯＦＦ状態にもどる限界の電流値を，ＳＣＲをＯＮに保持するために必要な最低の電流という意味で，保持電流I_Hといっています。 たとえば，つぎの値はM23Cの保持電流I_Hの値を示したものですが，このＳＣＲではＡＫ間を流れる電流が2〔mA〕以下になると，もとの＿＿＿＿＿＿状態にもどるわけです。 | 保持電流 | 2〔mA〕 |	ＯＦＦ フンフン ナルホドー

33 ＳＣＲをＯＦＦにするための具体的な手段として，抵抗を大きくしたり，電源電圧を下げてI_Aを保持電流値以下にするという方法をあげましたが，そのほかにもつぎのようにしてＯＦＦにする方法もあります。

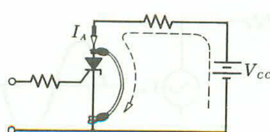
(1) 図ａはV_{cc}からの回路を切ってＳＣＲに流れる電流（I_A）を０にしています。

(2) また，図ｂはＳＣＲのＡＫ間を導線で短絡して，回路電流を導線側に流し，ＳＣＲに流れる電流(I_A)を０にしています。

（ＳＣＲはたとえＯＮになっていても，内部にわずかの抵抗がありますから，導線で短絡すると電流は導線側を流れるようになります。）



（図ａ）



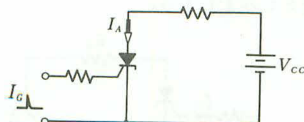
（図ｂ）

フン フン
とにかく SCRに
流れる電流を保持電流
以下にすれば，いいわけだ．

「そういうこと」

34 すなわち，ＳＣＲは図のようにＡＫ間に電圧をかけておいて，I_Gを瞬間的に流せばＯＮになり，その後，なんらかの方法でI_Aの値を＿＿＿＿＿値以下にすると，もとのＯＦＦの状態にもどります。

ところで，このような動作を実際に行わせようとすると，意外にめんどうになります。



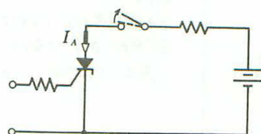
保持電流

つけるのは 便利ですが，
消すのは 大変なんですね

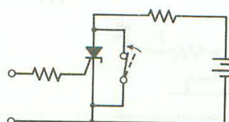
「SCRは 動き出したら
止まらないのです」

35 ＯＮにする場合は，ゲート・トリガ電圧を加えればいいのですから問題はありません。

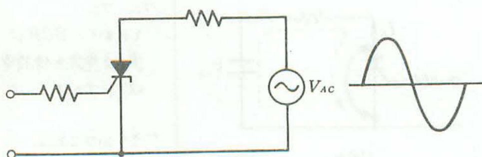
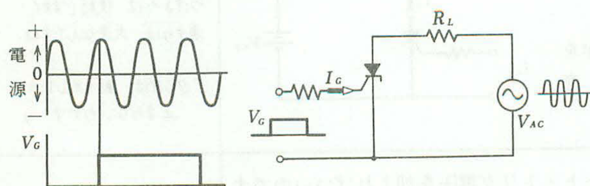
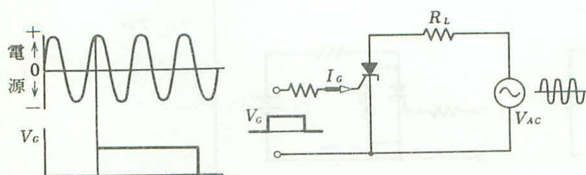
ところがＯＦＦにする場合は，電源電圧を操作したり，負荷を操作したり，または図ａや図ｂのように外部から接点を動作したりしなければなりません。



（図ａ）


（図ｂ）

フン フン

36　しかし，ここでちょっとくふうすると，簡単に処理できます。 いままでは電源が直流電源だったために，このような方法に頼らざるをえなかったのですが，たとえば正弦波交流電源（V_{AC}）を用いるとどうでしょう。 交流電圧の場合は，電圧が周期的に正負に変化しますから，必ず電圧値が0になるところがあり，またそれを過ぎると逆電圧がかかって電流が流れなくなります。 すると，その過程で必ず保持電流値以下になるところがあり，SCRを＿＿＿＿＿にできます。 トランジスタの場合は交流電圧を加えることはできませんが，このSCRはまったく問題ありません。  	OFF ナルホド ナルホド
37　それでは図のように，SCRのアノード・カソード間に交流電源と負荷 R_L を接続し，図のようなゲート・トリガ電圧 V_G を加えるとどのようになるかを考えてみましょう。  	「SCRの基本動作は同じことですョ」
38　まず，図の電源波形中にSCRがONになるタイミングを↑印で，またOFFになるタイミングを↑印で示してください。  	「わかりやすくするために V_{AC} が0になってアノード電流が0になれば，SCRがOFFになると考えてください。」 「答は次のフレーム参照」

39 図のようなゲート・トリガ電圧(V_G)を加えた場合は，点a，点b，点cでそれぞれつぎのような動作をしてON，OFFを繰り返すようになります。

○点a……AK間に順方向電圧がかかっているので，ゲート・トリガ電圧がかかるとSCRは(ア)＿＿＿＿＿になる。

○点b……V_{AC}が約0〔V〕となり，I_Aが保持電流値以下となって，SCRは(イ)＿＿＿＿＿となる。

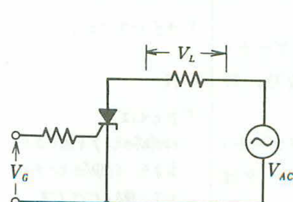
○点c……ゲート・トリガ電圧はかかっているので，AK間に順方向電圧が加わり始めるとSCRは(ウ)＿＿＿＿＿となる。

そして，負荷に加わる電圧(V_L)は図のようになります。

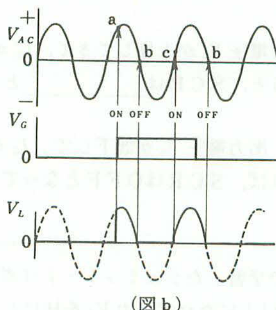
(ア) ON

(イ) OFF

(ウ) ON



(図a)



(図b)

「答 あってましたか？」

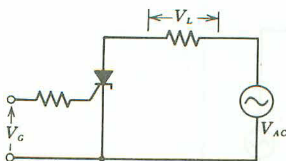
Ok，Ok！

40 つまり，図aの回路にゲート・トリガ電圧 V_G を加えると，負荷に加わる電圧 V_L は図bのようになって，ゲート・トリガ電圧V_Gを加えている間は，負荷に交流電圧の半波分が加わるようになります。

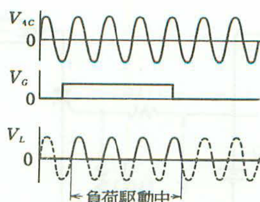
そして，交流電圧の半波分とはいえ，ゲート電圧がかかっている間は負荷に電圧が加わり，負荷が駆動できるわけです。

すなわち，ゲート電圧によって，負荷を駆動したり，しなかったりというON−OFF制御ができるわけです。

フン フン
半波だけど
電圧がかかることには
違いないからなあ

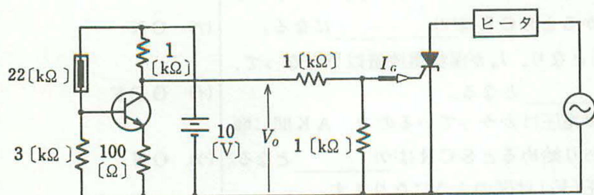


(図a)



(図b)

41　図の回路は，サーミスタで温度を検出し，SCRを用いてヒータを制御するという温度制御回路です。



(1)　温度が低くなり，出力電圧 V_O が上昇してきて，I_G がゲート・トリガ電流値以上になると，SCRは＿＿＿＿＿となり，ヒータを駆動します。

(2)　また，温度が上昇し，出力電圧 V_O が低下して，I_G がゲート・トリガ電流値以下になれば，SCRはOFFとなってヒータは働かなくなります。

でも ヒータにかかる電圧は，半波分だけでしょ

「そういうこと」

ON

「たとえば，100〔W〕のヒータを用いると，およそ50〔W〕のヒータとして働くわけです」

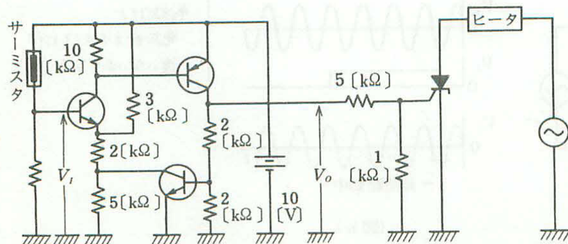
42　また，図の回路は前章で学習したシュミット・トリガ回路を利用して，ある任意の温度 T_1 以上になれば出力 V_O をHにしてSCRをONにし，また，ある任意の温度 T_2 以下になれば出力 V_O をLにしてSCRをOFFにするという温度制御回路の一例です。

これまで学習してきたことをふり返りながら，この回路の動作を順次，考えてみてください。

(1)　この回路では V_I が何ボルト以上になると V_O が約10〔V〕になりますか。

また，V_I が何ボルト以下になると V_O が約0〔V〕になりますか。

(2)　V_O が約10〔V〕になったとき，ヒータにかかる電圧はどのようになりますか。



Hは高い電圧，Lは低い電圧のことでしたね

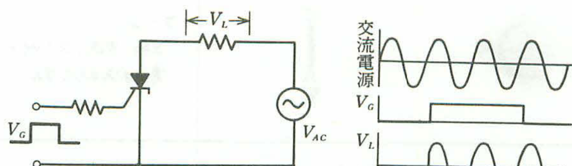
「そうですョ」

(1)　V_I＝7.7〔V〕
　　V_I＝4.7〔V〕

(2)　交流半波

43 いままでの学習で，ＳＣＲとはどのような動作をするものか，またＳＣＲを用いてＯＮ－ＯＦＦ制御するにはどうすればよいのかということを考えてきました。

ところで，いままで学習してきたＳＣＲは，電源に交流電圧を用いることができるとはいっても，ゲート・トリガ電流 I_G を流してＯＮの状態にできるのは，交流電圧の＿＿＿＿＿＿の期間だけです。



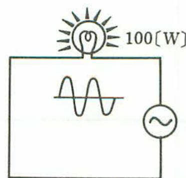
半波

ウーン
半波だけでなく，全波が使えるものも，ほしいなあ――

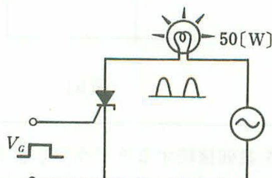
「もう少し待って下さい」

44 そのため，負荷にかかる電圧は交流の正の半波だけになり，最高の通電状態でも，通常の交流電圧を加えているときの半分の消費電力になります。

つまり，100〔W〕のランプを点灯しているときでも，その明るさはおよそ＿＿＿＿＿＿〔W〕にしかなりません。



（図ａ）



（図ｂ）

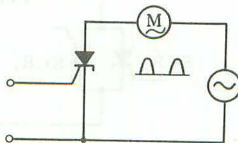
50

フン フン
加わる電圧が半分だからですね

「そう いう こと 」

45 また，負荷にかかる電圧の方向も正の方向だけのもので，正負の電圧の両方はかかりません。

したがって，たとえば交流モータのように交流でなければ動作しないような負荷は，駆動することができません。



フン フン

46　これに対して，交流の正負いずれの場合でもONの状態にできるようにしたものに，トライアックと呼ばれるものがあります。
それでは次に，このトライアックについて学習していきましょう。

47　トライアック

トライアック（TRIAC）とは，Triode AC Switchの略で，SCRと同じく図のように3本の端子をもつスイッチング素子です。

「Triodeとは 3極，ACとは 交流 という 意味ですよ」

フーン
3極，交流，スイッチの意味があるんですね



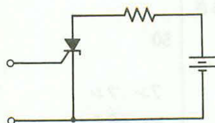


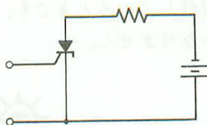
48　SCRの場合は，図aのような向きに電圧がかかっているときにGK間にゲート・トリガ電圧を加えることによって＿＿＿＿にすることができました。
しかし，図bのように電圧がかかっているときは，ONの状態にすることはできません。

［ON］

「SCRの動作 覚えてますね」

バッチリ


（図a）

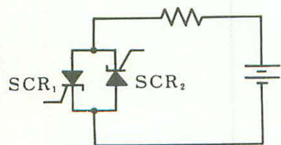

（図b）

49　では，図のようにSCRを並列接続するとどうでしょう。
図aのように電圧がかかっているときはSCR_1に順方向電圧が加わり，図bのように電圧がかかっているときは＿＿＿＿に順方向電圧が加わるようになります。

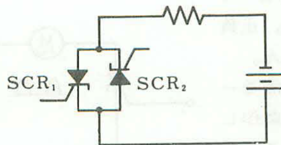
［SCR_2］

ナルホド
二つをペアにして使うってことですね。

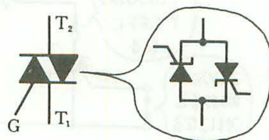
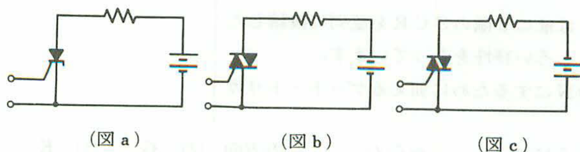
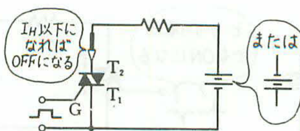
「まあーネ
問題があるけど
このように考えると
覚えやすいヨ」



（図a）

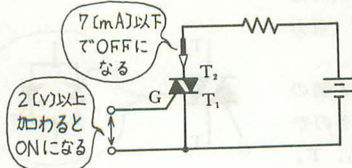


（図b）

50　トライアックは，概略的にはＳＣＲを２個用いて両方向（双方向）性をもたせたものです。 したがって，図記号も２個のＳＣＲをペアにしたようなもので示し，それぞれの電極をT_1，T_2 G端子と呼んでいます。  	感じが出てるでしョ
51　ＳＣＲは図ａのような方向に電圧を加えないとＯＮにすることができませんが，トライアックは二つのＳＣＲを互いに逆方向に接続したようなものですから，図ｂや図ｃのように，どちらの方向に電圧を加えてもＯＮにすることができます。  （図ａ）　（図ｂ）　（図ｃ）	「図記号を見ても両方向に電流が流せることがわかりますネ」
52　そして，トライアックがＯＦＦになるのは，ＳＣＲと同じようにT_1T_2間を流れている電流が保持電流値以下になったときです。 すなわち，トライアックはT_1T_2間に任意の方向に電圧をかけておいて，GT_1間にゲート・トリガ電圧を加えれば，(ア)＿＿＿＿にすることができ，T_1T_2間に流れている電流を保持電流値以下にすれば(イ)＿＿＿＿になるわけです。  	(ア)　ＯＮ (イ)　ＯＦＦ
53　トライアックをＯＮにするためのゲート・トリガ電圧の値や，ゲート・トリガ電流の値，および保持電流の値は，それぞれＳＣＲのときと同様にカタログに明記されています。 つぎの数値は，２ＳＭ 151と呼ばれているトライアックの特性値です。 ２ＳＭ 151 ゲート・トリガ電圧：2〔V〕 ゲート・トリガ電流：30〔mA〕 保持電流：7〔mA〕	「トライアックの場合は，２Ｓ……の次のアルファベットが，Ｍになっています」

２ＳＭ 151

ゲート・トリガ電圧	2〔V〕
ゲート・トリガ電流	30〔mA〕
保　持　電　流	7〔mA〕

54　すなわち，2 SM 151 の場合はGT₁間に 2〔V〕以上の電圧がかかるとONになり，T_1T_2間に流れる電流が＿＿＿＿〔mA〕以下になるとOFFになるわけです。	7
	I_Gが 30〔mA〕以上流れる必要もあるわけでしょ
2 SM 151	「GT_1間に 2〔V〕以上加えると，必らず 30〔mA〕以上流れるわけです.」

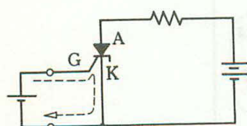
ゲート・トリガ電圧	2〔V〕
ゲート・トリガ電流	30〔mA〕
保　持　電　流	7〔mA〕

55　ところで，トライアックは単に2個のSCRを並列に接続しただけではなく，もう一つおもしろい特性をもっています。

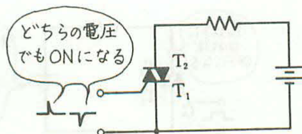
それは，トライアックをONにするために加えるゲート・トリガ電圧です。

SCRの場合は，図aのように(ア)＿＿＿＿から(イ)＿＿＿＿の方向に電流が流れるような向きに電圧を加える必要がありました。　(ア)　G　(イ)　K

ところが，トライアックの場合はゲート部分がすこしくふうされていて，加える電圧の極性はどちらでもかまわないのです。



(図a)



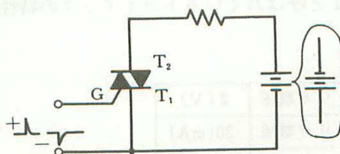
(図b)

オヤ　オヤ
極性は　ないのですか

「そういうこと」

56　すなわち，トライアックはT_1T_2間に電圧がかかっていさえすれば，あとは正負いずれの方向でもゲート・トリガ電圧を加えることによってONにすることができます。

たとえば，さきほど例にあげた2 SM 151 ならば，＿＿＿＿〔V〕以上のゲート・トリガ電圧を加えると，電圧の方向に無関係にONにすることができるわけです。

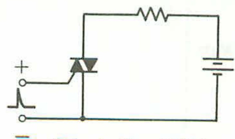


トライアックは
何でもこいですね

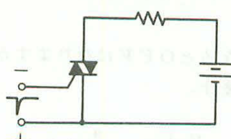
「そうです
トライアックは
寛容なのです」

2

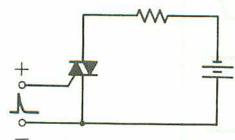
57　このようなことから，トライアックは具体的にはつぎの四つの状態のいずれでもＯＮになります。



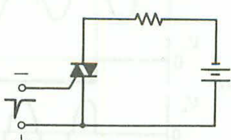
(図 a）モード(Ⅰ)



(図 b）モード(Ⅱ)



(図 c）モード(Ⅲ)



(図 d）モード(Ⅳ)

しかし，このうちの図 c の状態（モードⅢ）は，感度の点ですこし不安定さがあります。

つまり，T_2側に負の電源電圧を加え，G端子に正のゲート・トリガ電圧を加えた場合は，通常のゲート・トリガ電圧の値では動作しない場合があるのです。

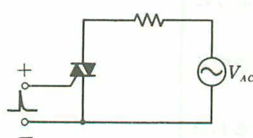
フーン
やはり トライアックにも
好き嫌いが
あるってことか

「何でも 万能は
むつかしいものですね」

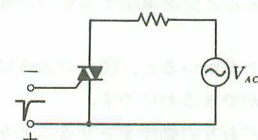
58　このような理由から，図のように交流電源を用いるときには，図 a のようにすると前フレームのモード(Ⅰ)の状態とモード(Ⅲ)の状態を使うことになるので，一般にはこれを図 b のように改めて，G端子に負の電圧がかかるようにして，前フレームのモード(Ⅱ)，モード(Ⅳ)の状態で動作させるようにしています。

ナルホド

フン フン

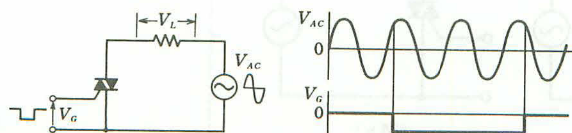


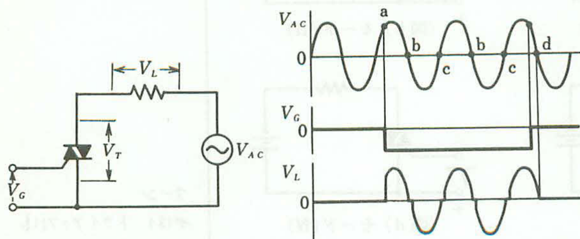
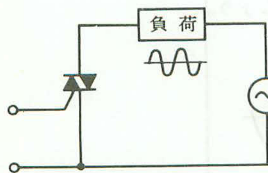
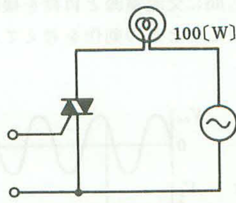
(図 a）



(図 b）

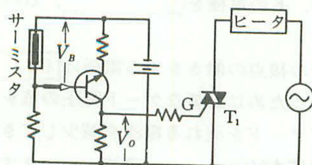
59　それでは，図のようにT_1T_2間に交流電源と負荷を接続し，図のようなゲート・トリガ電圧を加えたときの動作を考えてみましょう。



60　トライアックはT_1T_2間に電圧がかかり，V_Gが加えられると，T_1T_2間がONとなって，正負いずれの電圧も負荷にかかるようになります。 そして，保持電流値以下になるとOFFになりますから，つぎのような動作をすることになります。  ○点a……V_{AC}がかかっており，V_Gが加わるため，トライアックは(ア)＿＿＿＿となる。 ○点b……V_{AC}が0となり，保持電流以下となって，OFFとなるが，V_Gが加わっているため，V_{AC}がかかり始めるとすぐにまた(イ)＿＿＿＿となる。 ○点c……点bと同じ。 ○点d……保持電流値以下となり，(ウ)＿＿＿＿となる。	(ア)　ON (イ)　ON (ウ)　OFF
61　このようにトライアックは，SCRと違って，ゲート・トリガ電圧を加えると負荷にはほとんど交流電圧そのものが加わるようになります。 したがって，トライアックを用いると，図aのように交流で働く負荷を自由に駆動することができるわけです。 また，消費電力も定格値どおりの動作をさせることができるわけです。 図bのように100〔W〕のランプであれば，その消費電力も100〔W〕になります。  （図a）  （図b）	フン　フン これは 便利だナアー

62 図の回路は，サーミスタからの検出電圧をトランジスタで増幅し，その出力でトライアックを駆動してヒータを制御しようとした温度制御回路です。

図の回路でNPNトランジスタを負の電源で動作させているのは，ゲート・トリガ電圧がトライアックのT_1端子に対して負の電圧で加わるようにするためです。



この回路は，温度変化に応じてつぎのように動作します。

○温度上昇 ⟶ V_B 減少 ⟶ I_B (ア) ⟶ V_O 減少
⇩
トライアック (イ)

○温度低下 ⟶ V_B 増加 ⟶ I_B (ウ) ⟶ V_O 増加
⇩
トライアック (エ)

(ア) 減少

(イ) OFF

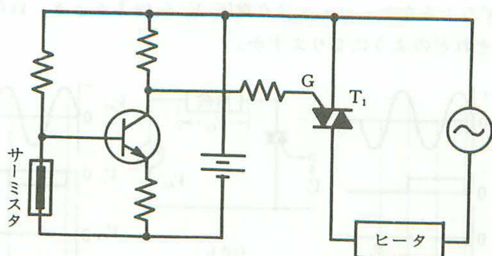
(ウ) 増加

(エ) ON

63 電源電圧が負になっているのが扱いにくければ，この回路の上下を逆にして，図のようにかきなおすとわかりやすいかもしれません。

このような回路図のかき方をする場合もよくありますから，覚えておいてください。

いずれにしても，T_1端子に対してG端子が負になるようなゲート・トリガ電圧を加えるために，このような回路構成にしているわけです。



「これで SCR と
トライアック の学習を
終ります．
ちょっと，小休息しましょう．
ご苦労さんでした」

練習問題

1　つぎの文章の＿＿＿＿＿の中に適する言葉を入れ，文章を完成しなさい。

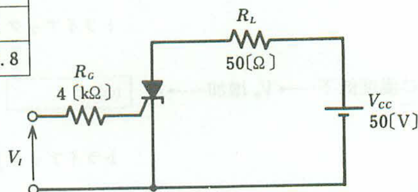
(1)　SCRはA，K，Gと略される3本の端子をもった半導体スイッチング素子で，Aの電極をアノード，Kの電極を(ア)＿＿＿＿＿，Gの電極を(イ)＿＿＿＿＿といっています。

(2)　SCRでスイッチの接点の働きをする電極は［(ア)　　］－［(イ)　　］間です。

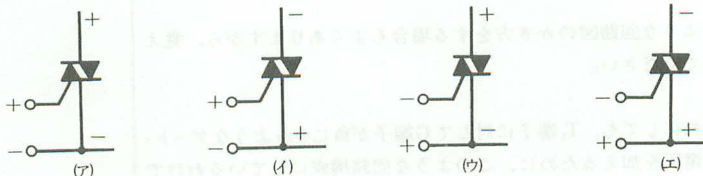
(3)　SCRをONにするために必要なゲート電圧の値を(ア)＿＿＿＿＿電圧といい，ONになったのちに，アノードを流れる電流を減少してきて，もとのOFF状態にもどるときの電流の限界値を(イ)＿＿＿＿＿電流といいます。

2　つぎのような特性をもつSCRを用いて図のような回路をつくったとき，SCRを確実にONにするための入力電圧（V_I）の最低値はいくらになりますか。

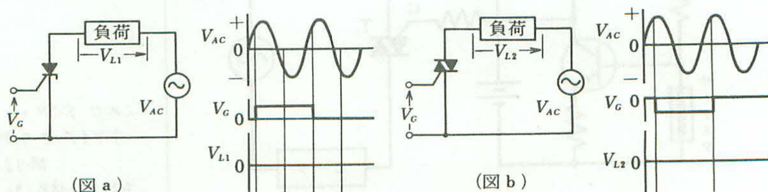
	min.	typ.	max.
ゲート・トリガ電流〔mA〕	—	0.6	1
ゲート・トリガ電圧〔V〕	0.2	0.6	0.8



3　つぎの図は，トライアックをONにするときの四つの状態を示したものです。感度に不安定さがあるのはどれですか。

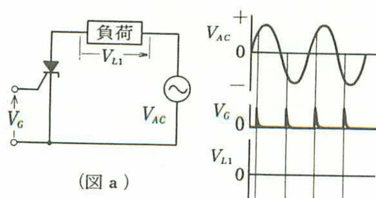


4　図aや図bの回路につぎのようなゲート・トリガ電圧 V_G を加えたとき，負荷に加わる電圧 V_{L1}，V_{L2} はそれぞれどのようになりますか。

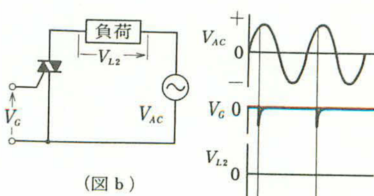


（図a）　（図b）

5　図 a や図 b の回路につぎのようなゲート・トリガ電圧 V_G を加えたとき，負荷に加わる電圧 V_{L1}，V_{L2} はそれぞれどのようになりますか。



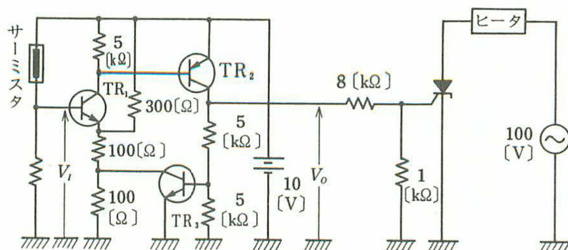
（図 a）



（図 b）

6　図の回路はサーミスタで温度を検出し，ヒータを ON-OFF 制御するための回路です。

つぎの問いに答えなさい。



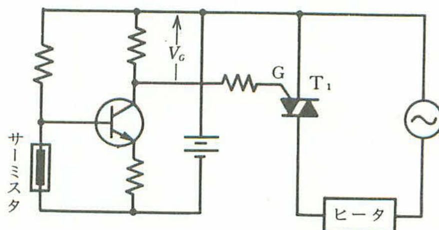
(1)　TR_1，TR_2，TR_3 の回路はなんという回路ですか。

(2)　V_I が何ボルト以上になればヒータが駆動されますか。

(3)　100〔W〕のヒータを用いたとき，この回路では実質的に何ワットのヒータとして働きますか。

7　図の回路はトライアックを用いた温度制御回路です。

つぎの問いに答えなさい。



(1)　トライアックの G 端子には T_1 端子に対してどのような極性の電圧が加わりますか。

(2)　温度が上昇すると，V_G の値はどのようになりますか。

(3)　温度が上昇すると，ヒータはどのようになりますか。

7. 位 相 制 御 (Ⅰ)

学 習 の 目 標

1．ＳＣＲやトライアックを用いて，負荷を連続的に制御できる位相制御について学習する。

(1) 位相制御とはどのようなものか。
(2) どのようにして負荷を連続的に制御できるのか。

2．ＳＣＲやトライアックに位相制御動作をさせるために必要なＵＪＴ（ユニジャンクション・トランジスタ）について学習する。

(1) ＵＪＴとはどのようなものか。
(2) どのように活用すればよいのか。

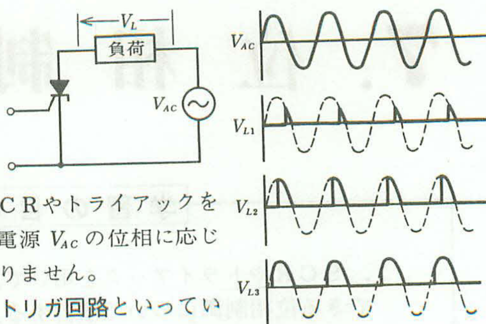
3．ＵＪＴを用いた位相制御回路について学習する。



学習の概要

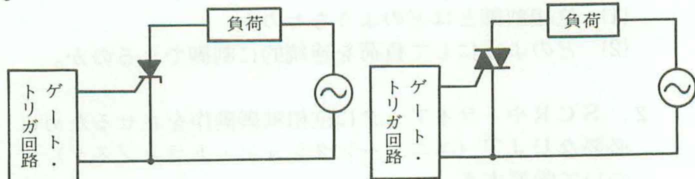
1．位　相　制　御

(1)　位相制御とは，図のように負荷に加える交流電圧の位相角を変化して，負荷に供給する電力を連続的に制御する方法です。



(2)　位相制御を行うためにはＳＣＲやトライアックをＯＮにするタイミングを交流電源 V_{AC} の位相に応じて任意に変化できなければなりません。

そのための回路を**ゲート・トリガ回路**といっています。



(3)　ゲート・トリガ回路には，一般につぎのような半導体素子が利用されています。

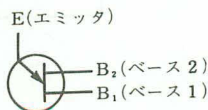

UJT


PUT


ダイアック

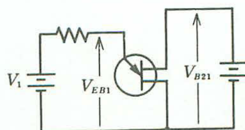
2．ＵＪＴ（ユニジャンクション・トランジスタ）

(1)　ＵＪＴとはB_1（ベース１），B_2（ベース２），Ｅ（エミッタ）という３本の電極をもち，図ａのような図記号で示されるものです。



（図ａ）　UJT の図記号

(2)　ＵＪＴは図ｂのようにB_1B_2間に電圧 V_{B21} を加えておき，V_1 を増加していくと，V_{B21} の値に対して V_{EB1} がある値に達したときEB_1間がＯＮの状態になります。



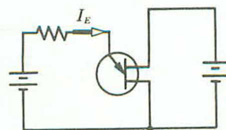
（図ｂ）

(3)　ここで，V_{B21} に対して V_{EB1} がいくらになったときにEB_1間がＯＮになるかという割合（V_{EB1} / V_{B21}）を**スタンドオフ電圧比**といっています。

一般にこの値は50〔%〕程度になっています。

(4)　EB_1間がＯＮの状態になったのち，もとのＯＦＦ状態にもどるのは，エミッタ端子に流れている電流（I_E）がある値以下になったときです。

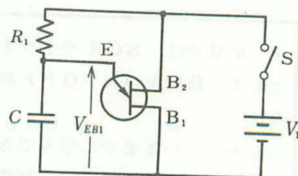
この電流値のことを**谷電流**といっています。



（図ｃ）

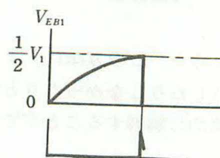
3. UJTによるトリガ・パルス発生回路

UJTを用いて図aのような回路を構成し，スイッチSを入れると，つぎのような動作をするようになります。



（図 a）

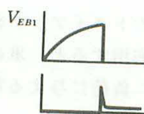
① スイッチSを入れるとB_2B_1間には電圧V_1が加わり，V_{EB1}はコンデンサCが充電されるに従って，図bのように上昇していきます（上昇していく速度はCとR_1との積で決まり，CR_1の値が大きいほど上昇する速度は遅くなります）。



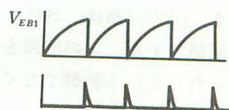
（図 b）

② V_{EB1}がほぼ$V_1/2$の値まで上昇するとEB_1間がONとなり，コンデンサに蓄えられた電荷が急激に放電します。

③ 放電が終わるとEB_1間を流れる電流はほぼV_1/R_1となりますが，この値が谷電流値より大きければ図cのようにONを持続し，谷電流値よりも小さければ図dのように発振するようになります。



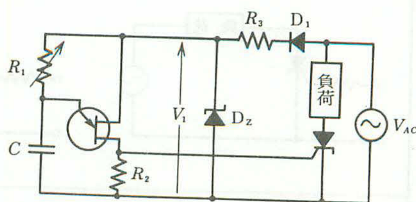
（図 c）



（図 d）

4. UJTを用いたSCRのゲート・トリガ回路

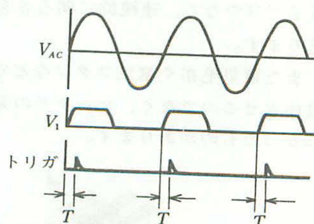
UJTを用いて図のような回路を構成すると，R_1の値を変化させることによって位相制御を行うことができます。



① UJT回路に加わる電圧V_1は，D_1，R_3，D_Zによって図のようになります。

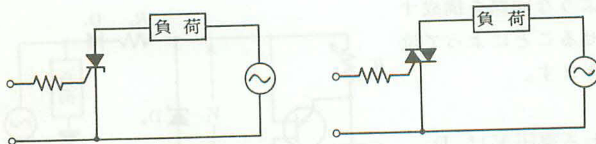
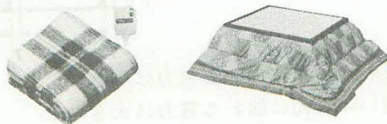
② UJTにV_1が加わることによって図のようなトリガ・パルスがUJTから出力されます。

③ 電圧V_1が加わってからトリガ・パルスが出力されるまでの時間TはR_1によって変化でき，SCRをONにする位相を任意に制御できます。



○ R_1が大きい⇨時間Tが長い⇨負荷に加わる電力は小さい。
○ R_1が小さい⇨時間Tが短い⇨負荷に加わる電力は大きい。

学習の展開

1　前章では，SCRやトライアックの基本動作を知り，その応用として，負荷をON－OFF制御する方法について学習してきました。 しかし，いままでに学んできたON－OFF制御は，負荷を駆動したりしなかったりという制御はできましたが，たとえばランプの明るさを自由自在にコントロールするというような制御はできません。 ところが，この方法にちょっとしたくふうをすると，単にランプを点灯したりしなかったりという動作だけでなく，ランプの明るさを連続的に制御することができるようになります。	ホー ランプの明るさを 連続的にですか？ 「そうですヨ」
2　図の回路は，SCRやトライアックを用いたON－OFF制御回路ですが，この回路を応用すると，単に負荷を駆動したりしなかったりという制御でなく，負荷に与える電力を連続的に制御できるようになります。 これから学ぶこのような制御方法を，いままでのON－OFF制御と区別して，一般に位相制御といっています。  	なぜ位相制御と いうのかナ？ 「まだもう少し 待って下さい！」
3　最近の家庭電化製品をみても，電気スタンドなどは単に切り換えるだけでなく，連続的に明るさを調整できるようになったものがあります。 また電気毛布や電気コタツなどでも，単にヒータをON，OFF動作させるのでなく，ヒータでの発熱量を連続的に調整できるようになったものがあります。  これらはすべて，これから学習する位相制御を応用したものです。	フレフン これはおもしろく なりそうだゾ

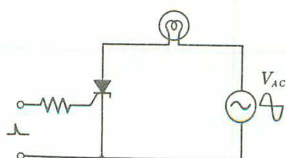
4　それでは，前章の学習を基礎にして，この章では負荷を連続的に制御できるという位相制御について学習していきましょう。

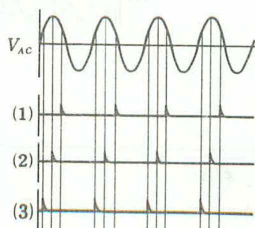


ハーイ
ようしく
お願いしまーす

5　まず，ランプの明るさを制御する場合を例にとって，位相制御とはどのようなものかということから学習していきましょう。

図の回路は，いままでの ON－OFF 制御回路と同じものですが，この SCR のゲート端子につぎの(1)～(3)のようなトリガ・パルスを加えるとどうなるでしょうか。



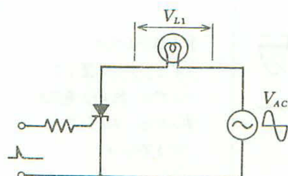


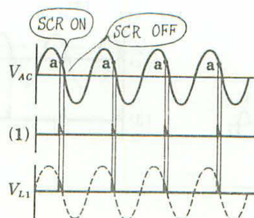
「パルスとは
脈流のことで，
脈拍のように，
間欠的な電圧のことをいいます.」

6　(1)のトリガ・パルスを加えた場合は，電源 V_{AC} の波形中のそれぞれ点 a のところで SCR が ON となり，その後 0〔V〕と交差するところで＿＿＿＿＿＿になります。

したがって，ランプに加わる電圧 V_{L1} は，図のように点 a から 0〔V〕と交差するまでの位相分になります。

OFF





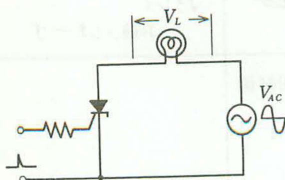
アレ アレ

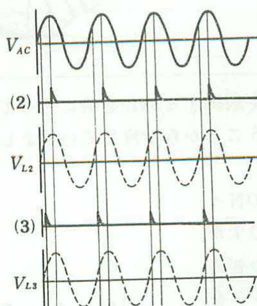
ランプに加わる電圧はごく わずかだナア

「そうでしょ」

7　それでは，同じように(2)，(3)のトリガ・パルスを加えると，ランプに加わる電圧はどのようになるでしょうか。

(2)が加わった場合にランプに加わる電圧の波形を図の V_{L2} のところに，また(3)が加わった場合を図の V_{L3} のところに，それぞれ記入してください。





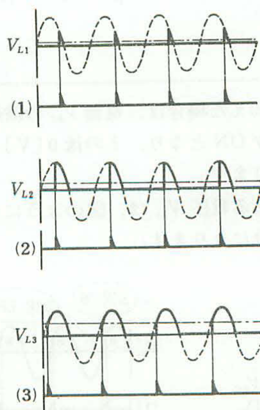
フン　フン
ランプに加わる電圧が，
大きく　なってきたぞ

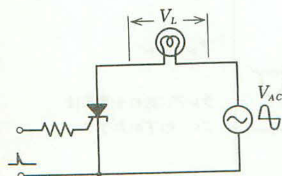
「答は次フレームを
参照して下さい」

8　負荷に加わる電圧 V_L は，それぞれどのようになりましたか。

トリガ・パルスによってＳＣＲをONにする位置を変化させると，ランプに加わる電圧は図のようになりましたね。

さて，ランプにこのような電圧がかかると，ランプの明るさはどのようになるでしょうか。



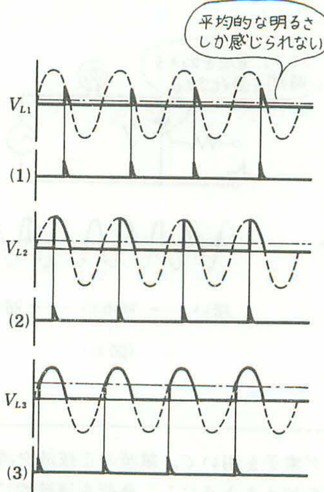


「トリガパルスの
タイミング（位置）で，
ランプに　加わる電圧が
ずいぶん　ちがって
くるでしょ　」

なーるほど

9　ランプに加わる電圧は，それぞれ時間的に断続を繰り返しているのですが，これらは1秒間に何十回という非常に速い速度で断続しています。

そのため，私たちの目には，この断続は感じられません。



私たちの目には，図のようにランプが発光する平均的な明るさが感じられるだけです。

したがって，いまの場合は，最も少ない電圧しかかからないトリガ・パルス(1)のときが最もランプは(ア)＿＿＿＿＿く，(2)の場合，(3)の場合と徐々に(イ)＿＿＿＿＿くなっていきます。

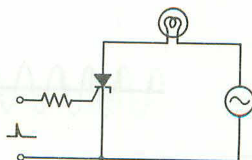
(ア)　暗　　(イ)　明る

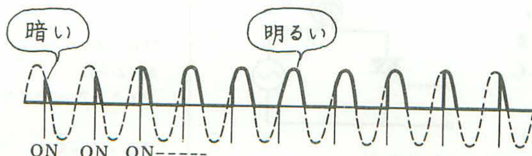
ナールホド
「ここのところが位相制御のポイントだョ　」

10　つまり，SCRをONにするタイミングをうまく制御すれば，実質的にはランプの明るさを連続的に変化させることができるわけです。

このことは，ランプに限ったことではありません。

負荷にヒータを接続した場合でも，モータを接続した場合でも，うまく連続的な動作をさせることができます。

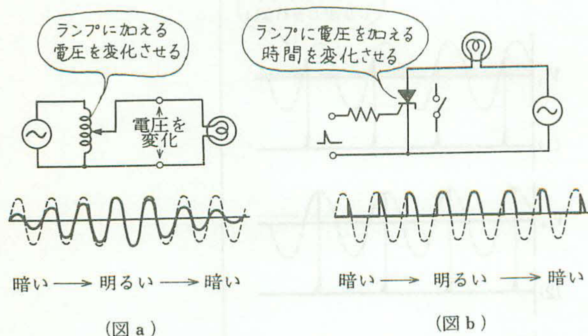




でもONにするタイミングはどうするのかな？

「あとの　おたのしみ」

11　一般に，負荷を制御するといえば，図aのように負荷に加える電圧の振幅を変化させる方法を考えますが，図bのようにスイッチング素子を用いて，一つの正弦波単位でONにする時間をコントロールする方法によっても負荷を制御することができるわけです。



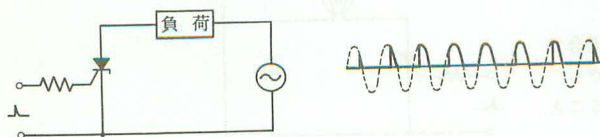
（図a）　　（図b）

おもしろい発想だなァー

「何事も　工夫が第一ですよ」

12　このようにスイッチング素子を用いて，電源の正弦波交流中の任意の期間だけ負荷に電圧を加えるようにし，負荷を連続的に制御する方法を，SCRをONにする位相を制御するという意味で位相制御といっているのです。

この方法は基本的には，スイッチのON−OFF機能を利用した一種のON−OFF制御なのですが，単に負荷を駆動したり，しなかったりという制御ではありませんから，従来のON−OFF制御と区別して________といっているわけです。



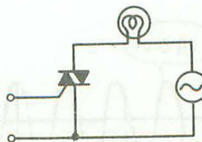
位相制御

ナールホド
ONにする位相を制御するから　位相制御か

「そういうこと」

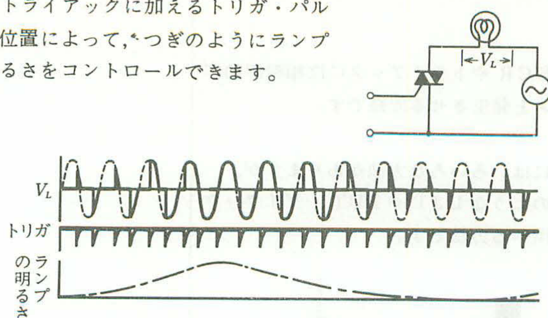
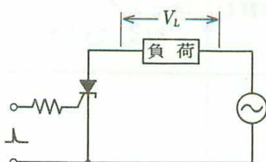
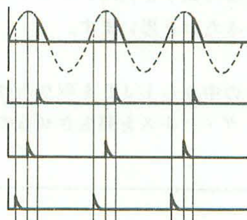
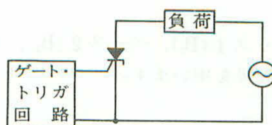
13　さて，位相制御については，これまでSCRを例に考えてきましたが，トライアックの場合でも同じことです。

つまり，トライアックをONにするタイミングをうまく制御すればいいわけです。



フレ　フン
ポイントは
タイミングということか

「そういうこと」

14　トライアックに加えるトリガ・パルスの位置によって，つぎのようにランプの明るさをコントロールできます。  	オヤ　オヤ この場合は　交流の正負共制御できるわけだ
15　以上で，スイッチング素子を用いて負荷を制御するという意味がわかり，さらに位相制御についておよその理解ができたと思います。 位相制御とは，SCR やトライアックを ON にするタイミングをうまくコントロールして負荷を制御する方法です。 ところで，このように SCR やトライアックに位相制御動作をさせるためのトリガ・パルスはどのようにして得られるのでしょうか。  	さあ ここからが　問題だ 「トリガパルスがなければ，位相制御はできませんぞ」
16　このような SCR やトライアックを任意のタイミングで ON にするためのトリガ・パルスを発生する回路を総称してゲート・トリガ回路といっています。  	トリガをかけるためのゲート回路　ということかな 「ホー　うまく　いうネェー」
17　それでは，いよいよ SCR やトライアックに位相制御動作を行わせるためのゲート・トリガ回路について，具体的に学習していきましょう。	ようしく お願いします

18　ゲート・トリガ回路

ゲート・トリガ回路とは，SCRやトライアックに位相制御動作をさせるためのトリガ・パルスを発生させる回路です。

トリガ・パルスを発生するにはいろいろな方法がありますが，一般に行われているのは，つぎのようなUJTやPUT，ダイアックと呼ばれている半導体素子を用いる方法です。


UJT


PUT


ダイアック

これらの半導体素子のことを一般にゲート・トリガ素子といっています。

いろいろ　あるんだナァ

「まあーネ」

19　本書でも，このような半導体素子を利用してトリガ・パルスを発生させる方法を学習していきたいと思います。

そこでまず，これらの素子の中からUJTを取りあげ，その基本動作と，どのようにしてトリガ・パルスを発生させるのかを学習していきましょう。

ヨーシ！
がんばらなくちゃ

20　UJT

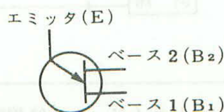
UJTとは，ユニジャンクション・トランジスタ（Unijunction Transistor）の略で，図aのように3本の端子をもつ半導体素子です。

そして，それぞれの電極をベース1（B_1），ベース2（B_2），エミッタ(E)といい，図bのような図記号を用います。

「ユニジャンクション
トランジスタとは
単接合トランジスタ
という意味ですヨ」

おもしろい
図記号ダナー

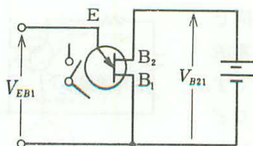

（図a）UJTの外観



（図b）UJTの図記号

21　それでは，このＵＪＴがどのような動作をするのかをみていきましょう。

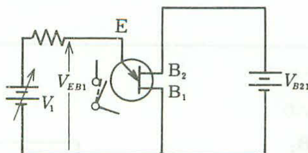
ＵＪＴは，図のようにB_1B_2間に電圧を加えておき，EB_1間の電圧を上昇していくと，ある電圧値に達したときEB_1間がONになるというスイッチング素子です。



E・B1間が，接点の働きをするわけか

「そういうこと」

22　したがって，B_1B_2間に図のように電圧 V_{B21} を加えておき，V_1 を増加して V_{EB1} を増加していくと，ある電圧値に達したときEB_1間が＿＿＿＿＿＿の状態になります。



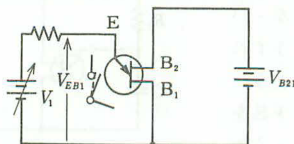
ON

23　ここでEB_1間がONになるときのEB_1間電圧は，B_1B_2間に加えた電圧 V_{B21} に関係しており，およそ V_{B21} の $\frac{1}{2}$ の値です。

正確には V_{B21} の値に対して，どの程度の V_{EB1} でONになるかという比率をスタンドオフ電圧比といいますが，この値はカタログに明記されています。

つぎの値は２ＳＨ11というＵＪＴのスタンドオフ電圧値です。

スタンドオフ電圧比	0.55

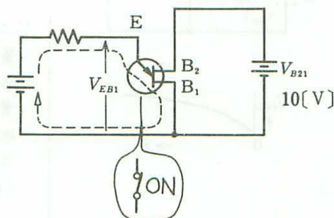


本書では，以下の説明を簡単にするために，スタンドオフ電圧比を約１/２として取り扱っていきましょう。

「ＵＪＴの品番は一般に　２Ｓの次のアルファベットが，Ｈになっています
２ＳＨ･･････」

24　ＵＪＴを用いた図のような回路では，V_{B21} の値が10〔V〕ですから，V_{EB1} がおよそ＿＿＿＿＿〔V〕以上になればEB_1間がONになり，EB_1間に電流が流れます。

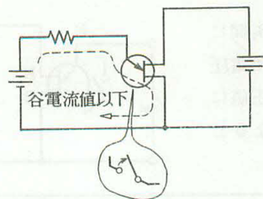
5



「スタンドオフ電圧比がポイントですョ」

25　このようにしてONになったのち，こんどOFFになるのは，SCRやトライアックなどと同じように，EB_1間に流れている電流をある値以下にすればいいのです。

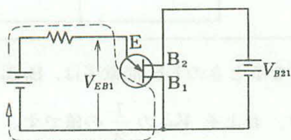
この電流のことを，SCRなどの場合には保持電流といっていましたが，このようなゲート・トリガ素子の場合は谷電流といっています。



保持電流＝谷電流と考えてもいいのですね．

「まあーネ」

26　すなわち，UJTはSCRとほとんど同じ動作をするもので，EB_1間の電圧V_{EB1}がB_1B_2間に加えた電圧V_{B21}の約$\frac{1}{2}$の値になるとEB_1間が(ア)＿＿＿＿の状態になり，その後，EB_1間に流れる電流が谷電流値以下になるとEB_1間がもとの(イ)＿＿＿＿の状態にもどるという働きをする半導体素子です。

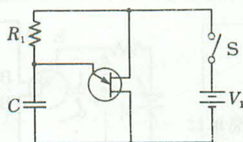


(ア)　ON

(イ)　OFF

27　それでは，このような動作をするUJTを利用してトリガ・パルスを発生させるには，どうすればよいのかを考えてみましょう。

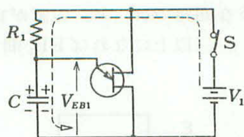
図のような回路でスイッチSをONにするとどうなるでしょうか。



「スタンドオフ電圧器と谷電流がポイントですよ」

28　スイッチSをONにすると，B_1B_2間に電源電圧V_1が加わります。

一方，抵抗R_1を通してコンデンサCが充電されますから，この充電量にともなってV_{EB1}が徐々に上昇していきます。

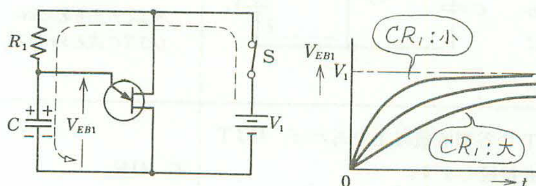




「コンデンサは，電気を蓄えるタンクのようなもので，電流を流し込むと，水位が上昇するように，コンデンサ両端の電圧（VEB1）が上昇するんだヨ」

29 このコンデンサCの両端の電圧（V_{EB1}）が上昇していく速さは，図のようにコンデンサの容量と抵抗の積 CR_1 の値によって決まります。

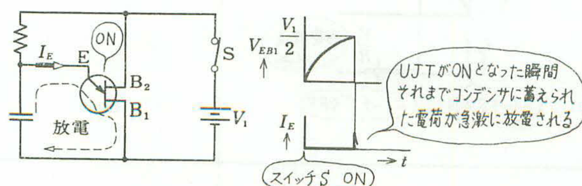
CR_1の値が大きいほど遅く，また逆に小さいほど＿＿＿＿＿く上昇していきます。 早



タンクが大きく
水流が弱いほど
満タンにするには
時間がかかるわけだ

「うまいこと　いうねェ」

30 このようにしてEB₁間の電圧が上昇していき，V_{EB1}がV_1の1/2程度まで上昇してくると，UJTはONとなって，いままでに充電されてきたコンデンサの電荷が急激に放電され，図のようにかなり大きな放電電流I_Eが瞬間的に流れます。

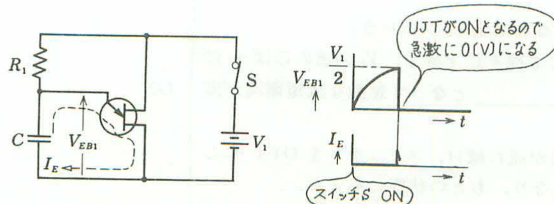


満タンになったタンクを
ブッチャケル　わけだ

「そう！
水は　一気に
流れ出すわけです」

31 すなわち，図のような回路でスイッチSをONにして電圧V_1を加えると，CR_1の値で定まる一定時間後にUJTがONになり，かなり大きな値の放電電流がUJTのEB₁間に流れます。

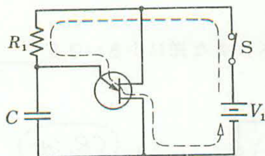
そして，コンデンサの電荷が放電されることによって，V_{EB1}も約0〔V〕になってしまいます。



フン　フン
タンクの中は
空っぽ　というわけダ

32　さて，こうして一度ＵＪＴがONになった場合，それ以後の動作はどうなるでしょうか。

ＵＪＴがONになってコンデンサの電荷が放電されてしまうと，コンデンサからの放電電流はなくなりますが，こんどは電源 V_1 からの V_1/R_1 の値の電流がＵＪＴに流れるようになります。



フン フン
今までの充電電流分が
UJTに流れるわけだ.

33　この電流の値 V_1/R_1 がＵＪＴの谷電流値以上であれば，ＵＪＴはそのまま(ア)＿＿＿＿＿の状態を持続します。

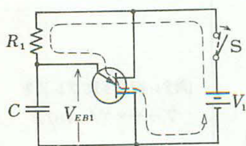
ここではわかりやすくするために，谷電流値以上の電流が流れており，ON の状態が持続されていると考えておきましょう。

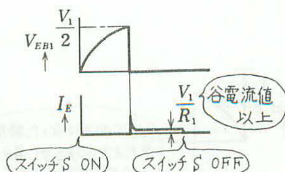
すると，スイッチＳを OFF にしたときに，ＵＪＴを流れる電流が谷電流値以下になりますから，ＵＪＴはもとの(イ)＿＿＿＿＿の状態にもどるわけです。

(ア)　ON

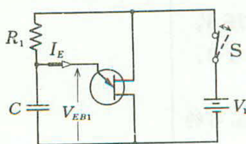
(イ)　OFF

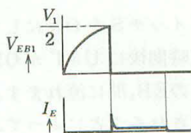
ナルホド
ナルホド





34　以上のことをまとめてみましょう。





「この回路動作は
しっかり 把握して
下さいヨ」

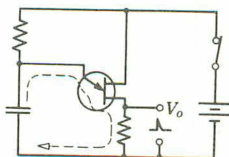
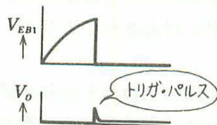
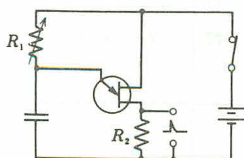
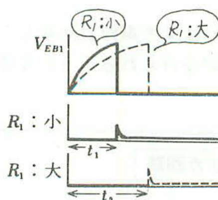
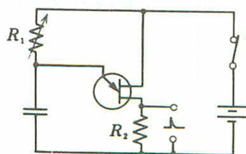
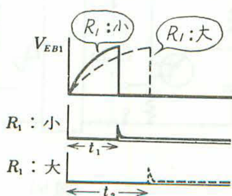
ハーイ
わかりました

①　スイッチＳをON にすると電圧 V_1 が加わる。

②　V_{EB1} が CR_1 の値に応じて徐々に上昇し，V_1 の値のほぼ $\frac{1}{2}$ になったときＵＪＴが＿＿＿＿＿となって急激な放電電流が流れる。　　ON

③　その後は V_1/R_1 の電流が流れ続け，スイッチＳを OFF にした段階で谷電流値以下となり，もとの状態にもどる。

そして，再びスイッチＳを入れると①〜③の動作を繰り返す。

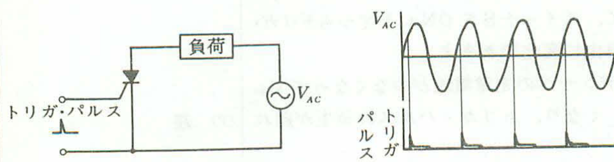
35 したがって，この回路のＵＪＴのB_1のところに抵抗を入れておけば，放電電流がこの抵抗で電圧降下を起こしますから，図のようにトリガ・パルスが取り出せるようになります。 この抵抗には，一般に数十オーム程度のものが用いられます。 	「さあ いよいよ トリガ・パルスの 登場ですヨ」
36 そして，図のように抵抗R_1を可変抵抗にしておけば，このR_1の値を増減させることによって，スイッチＳをONにしてからトリガ・パルスが出るまでの時間を自由に変化できます。 R_1を大きくすれば，コンデンサへの充電電流が少なくなってV_{EB1}が上昇するのが(ア)＿＿＿＿くなり，トリガ・パルスの発生が遅れます。 反対にR_1が小さいと，トリガ・パルスが(イ)＿＿＿＿く出ます。 	(ア) 遅 (イ) 早 R_1がトリガ・パルスを発生するまでの時間調整役ってわけですネ 「そういうこと」
37 つまり，ＵＪＴを用いて図のような回路を構成しておくと，抵抗R_1の値によってスイッチをONにしてからトリガ・パルスが発生するまでの位置を自由に変化させることができるわけです。 ○R_1が大きい⇨トリガ・パルスが(ア)＿＿＿＿く発生する。 ○R_1が小さい⇨トリガ・パルスが(イ)＿＿＿＿く発生する。 	(ア) 遅 (イ) 早 フン フン ナルホド

38 いままでの学習でＵＪＴの動作の概要と，ＵＪＴを用いたトリガ・パルスの発生法が理解できたと思います。

ところで，ＳＣＲやトライアックに位相制御をかけるためには，単にトリガ・パルスを発生させるだけでは意味がありません。

負荷を駆動する交流電源の波形に対応させてトリガ・パルスを発生させる必要があります。

たとえば，図のようにＳＣＲを用いて負荷を位相制御するには，負荷に加える交流電源と同期させて，交流電圧の波形が0〔V〕から正に転じた一定時間後にトリガ・パルスを発生させなければなりません。



「いよいよ位相制御への活用法ですョ」

それでは次に，どのようにすれば交流電源と同期したトリガ・パルスが得られ，うまく位相制御がかけられるようになるのかを学習していきましょう。

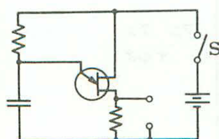
ヨーシ ガンバルぞ──

39 UJTによるゲート・トリガ回路

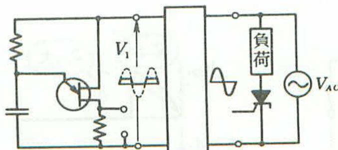
ＵＪＴを用いてトリガ・パルスを発生させる回路については，これまでは図ａのようにスイッチＳを開閉させて動作させていました。

では，このようにスイッチをＯＮ，ＯＦＦして直流電源を加える代わりに，図ｂのように負荷を駆動する電源 V_{AC} を整形した電圧 V_1 を加えるとどうなるでしょうか。

ウーン 交流電圧を整形して加えたら どうなるんだろう

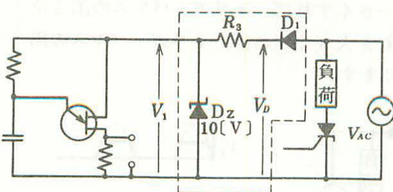


（図ａ）



（図ｂ）

40 このような波形の整形は，図 a のようにダイオードD_1，抵抗 R_3，ツェナ・ダイオード Dz を接続して行わせます。

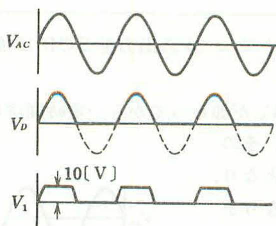


(図 a)

「ツェナー ダイオード
覚えてますか？」

まず，交流電圧 V_{AC} はダイオードD_1で整流され，図 b の V_D のようになります。

この V_D をさらに抵抗R_3とツェナ・ダイオード Dz の回路に加えると，最大電圧がツェナ電圧（ツェナ・ダイオードに固有の電圧）におさえられるようになって，V_1には図のような出力が得られます。



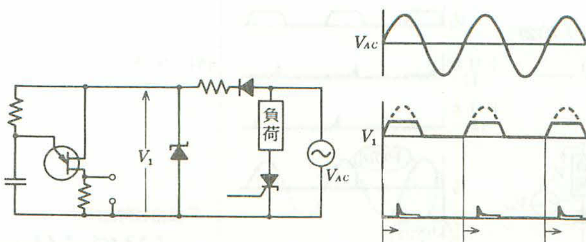
(図 b)

「ツェナ電圧値以上の電圧が，ツェナ・ダイオードに加わると，電流が流れて，R_3 で電圧降下を起こし，Dz両端の電圧は，ツェナー電圧に，おさえられるわけですよ
…………」

41 では，このような電圧がUJTに加わると，UJTからのトリガ・パルスはどのようになるでしょうか。

UJT回路は，電圧が加わってから，CとR_1の値で定まる一定時間後にトリガ・パルスを出し、電圧が加わらなくなるともとの状態にもどります。

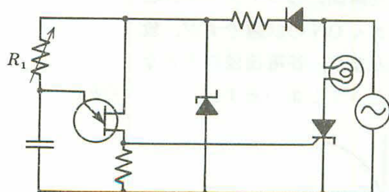
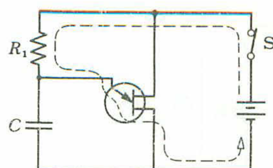
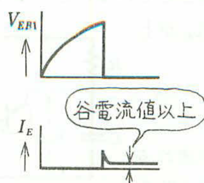
したがって，図のように，交流電源 V_{AC} からつくった電圧V_1がUJT回路に加わると，UJTからは，V_{AC} の波形が 0〔V〕を越えた位置から一定時間後に一つのパルスが出るようになり，うまく交流電源と同期したトリガ・パルスを発生するようになります。



ナルホド
交流電源を整形して
UJTに加えるところが，
電源と同期をとる
ポイントだな

「そういうこと」

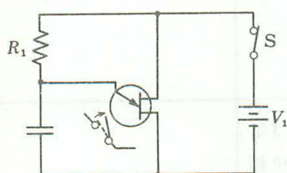
42 そして，抵抗R_1の値を小さくすれば，トリガ・パルスの出る位置が(ア)________くなり，R_1を大きくすれば，トリガ・パルスの出る位置が(イ)________くなります。 	(ア) 早 (イ) 遅 「どうです？ 電源に同期した トリガ・パルスが でてきたでしょ」
43 それでは，UJTのトリガ・パルス出力をSCRに接続してみましょう。 UJTからは，交流電圧V_{AC}が加わってから一定時間後にトリガ・パルスが出力されますから，そのタイミングでSCRがONとなり，負荷に電圧が加わるようになります。 	ナルホド これでタイミングも OKダナ
44 そして，抵抗R_1の値を変化させると，UJTからトリガ・パルスを出すタイミングが図のように変化し，負荷をうまく制御できるようになります。 ○ R_1の値を小さくする⇨トリガ(1) ⇨負荷に加わる電力が(ア)________くなる。 ○ R_1の値を大きくする⇨トリガ(2) ⇨負荷に加わる電力が(イ)________くなる。 	(ア) 大き (イ) 小さ 「位相制御回路の できあがり ですよ」

45 図の回路は，ＵＪＴを用いてＳＣＲに位相制御をかけ，ランプの明るさを連続的に変化させるための回路です。 R_1の値を変化させることによって，連続的にランプの明るさを変化できます。 ○R_1の値を小さくする⇨ランプが(ア)＿＿＿＿くなる。 ○R_1の値を大きくする⇨ランプが(イ)＿＿＿＿くなる。  	(ア)　明る (イ)　暗 「お好みの明るさに どうぞ」
46 いままでの学習で，ＵＪＴとはどのような素子か，またＵＪＴを用いてトリガ・パルスを発生させ，ＳＣＲやトライアックに位相制御をかけるにはどうすればよいのかといったことが理解できたと思います。 ところで，最後に一つだけ補足説明をしておかなければなりません。	「もう少しだから 頑張って下さいョ」
47 いままで学習してきたＵＪＴの回路では，説明のつごうで図のようにスイッチＳを入れて電圧を加えると，CR_1の値で定まる一定時間後にＵＪＴはONになり，その後はスイッチＳをOFFにしないかぎりそのままONの状態を持続するものとして取り扱ってきました。 つまり，ＵＪＴがONになってコンデンサが放電したあとでも，ＵＪＴに谷電流以上の電流が流れ，＿＿＿＿が持続すると考えてきました。   ところが，実際にはすこしちがった動作のさせ方をしています。 つまり，実際にはR_1の値を大きくして，ＵＪＴがONになって放電電流が流れたあとは，谷電流値以下の電流になるようにしているのです。	ON ホー どうしてかなぁー 「次のフレームへ どうぞ」

48　それでは最後に，このようにONになったのちにUJTを流れる電流が谷電流値以下になるように抵抗 R_1 の値を設定した場合，どのような動作をするか，また，こうすることによってどういう利点があるのかということを学習しておきましょう。

「この学習がすめば
位相制御は
完ペキ　ですョ！」

49　図の回路で V_1/R_1 の値が谷電流値以下になるように抵抗 R_1 の値を選んでおくと，UJTがONとなった瞬間にはコンデンサの放電電流が流れますから谷電流値よりも大きくONの状態ですが，放電が終わりかけると I_E の値は V_1/R_1 の値となり，谷電流値以下となってUJTは＿＿＿＿＿＿の状態にもどってしまいます。

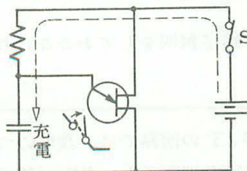




OFF

「放電後の電流 $\frac{V_1}{R_1}$ が
ポイントですョ！」

50　そして，UJTがOFFの状態にもどるとコンデンサは再び充電を始め，コンデンサ両端の電圧が＿＿＿＿＿＿していきます。



上昇

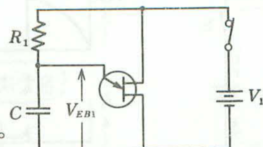
アレ　アレ
また　充電される
わけですね

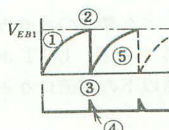
「そういう　こと」

51　すなわち，図の回路で R_1 の値を大きくして V_1/R_1 の値が谷電流値以下になるように設定しておくと，つぎのようにUJTがON，OFFを繰り返し，スイッチSを切らないかぎり何度もトリガ・パルスを発生し続けるようになります。

これはつまり，発振現象を起こしていることになります。

① コンデンサが充電され V_{EB1} が上昇する。
② V_{EB1} が V_1 の1/2の値になると，UJTが(ア)＿＿＿＿＿＿になる。
③ コンデンサの放電電流が流れる。
④ 放電電流がなくなり，UJTを流れる電流が谷電流値以下となって，UJTは(イ)＿＿＿＿＿＿にもどる。
⑤ 再びコンデンサが(ウ)＿＿＿＿＿＿を始める。





(ア)　ON

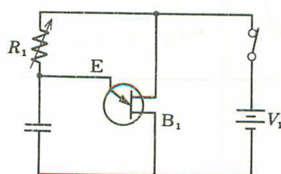
(イ)　OFF
(ウ)　充電

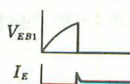
ナルホド
連続したトリガ・パルス
がでるわけだ．

52 いままでは図aのように，UJTがONとなってトリガ・パルスを一つ出すと，コンデンサの放電が終わったあともONの状態を持続するものとして取り扱ってきました。

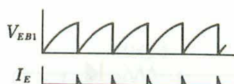
しかし，抵抗 R_1 の値を大きくすると，図bのように電圧 V_1 を加えているかぎりトリガ・パルスを出し続けるという動作をするようになるわけです。

UJTの場合は，一般に谷電流値が数ミリ・アンペアの値をもっていますから，R_1 の値を数十キロ・オーム以上にすると，このような動作をするようになります。





（図a）R_1 が小さいとき



（図b）R_1 が大きいとき

でも
R_1 を大きくすると
トリガ・パルスのでる
位置が，遅くなるんじゃ
なかったかなぁー

「そうですよ
でも　その分だけ
Cの値を　小さくして
おけば　いいでしょ」

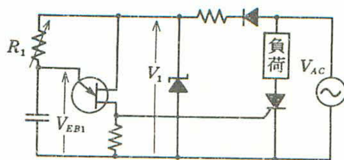
53 それでは，このような動作をさせたUJTでSCRを駆動すると，どうなるでしょうか。

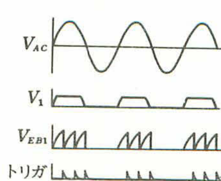
UJTに電源電圧が加わっている間はトリガ・パルスを出し続けますから，UJTからのトリガ・パルスはつぎのようになります。

すると，SCRに対してトリガはどこでかかるでしょうか。

図の場合は三つのトリガ・パルスが出ていますが，この最初のトリガ・パルスでSCRは駆動されます。

つまり，トリガ・パルスは三つ出ても，最初のパルスでSCRはONになってしまいますから，基本動作はいままでのように一つのトリガ・パルスを出していたときとまったく同じです。



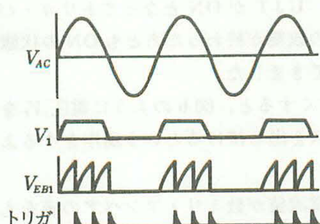


フーン
それじゃ　なぜ
発振させるわけですか

「次のフレームへ
どうぞ」

54 ところで，このようにすると，何かの異常現象で一つ目のトリガ・パルスで SCR が駆動されなかった場合でも，次のパルスで駆動されるようになります。

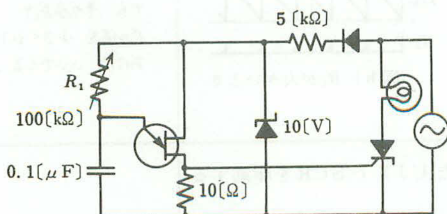
このようなことから，一般にはこのように UJT を発振させるような使い方をしています。



ナールホド
不発のときの
善後策 というわけか

「そう いう こと」

55 図の回路は，UJT を用いてランプの明るさを連続的にコントロールする回路です。



「どうも
ご苦労さんでした」

練習問題

1 つぎの文章の＿＿＿＿＿の中に適する言葉を入れ，文章を完成しなさい。

(1) 位相制御とは，負荷に加える交流電圧の位相角を変化して，負荷に供給する電力を＿＿＿＿＿的に制御する方法です。

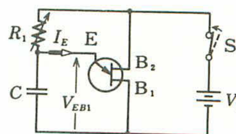
(2) 位相制御を行うには，交流電圧の任意の位相でＳＣＲやトライアックにトリガ入力を加える必要がありますが，そのための回路を＿＿＿＿＿回路といっています。

(3) ＵＪＴは B_1B_2 間に加えている電圧（V_{B21}）に対して，EB_1 間電圧（V_{EB1}）がある値に達すると，Ｅと(ア)＿＿＿＿＿の間がＯＮ状態になりますが，このときの V_{B21} と V_{EB1} との比 $\left(\frac{V_{EB1}}{V_{B21}}\right)$ を(イ)＿＿＿＿＿といっています。

(4) ＵＪＴをＯＮにしたのち，I_E の値を減少していくと，もとのＯＦＦの状態にもどりますが，このときの I_E の値を＿＿＿＿＿といっています。

2 つぎの文章は図のＵＪＴ回路についての説明です。
それぞれの問いに答えなさい。

(1) 文中の＿＿＿＿＿に適する言葉を入れなさい。

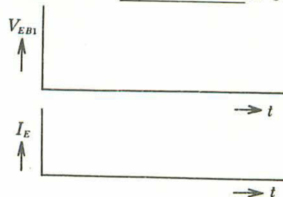


① スイッチＳを入れると EB_1 間電圧 V_{EB1} は上昇しますが，この速度は抵抗 R_1 の値が大きいほど＿＿＿＿＿くなります。

② V_{EB1} が V_{B21} のほぼ１／２の値まで上昇すると(ア)＿＿＿＿＿間がＯＮとなり，大きな放電電流が流れますが，この放電が終わると，電流 I_E の値はおよそ(イ)＿＿＿＿＿となります。

(2) スイッチＳを入れたのち，V_{EB1} および I_E が時間の経過とともにどのようになるかを図示しなさい。

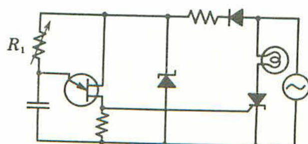
ただし，V_1/R_1 の値は UJT の谷電流値よりもかなり小さいものとします。

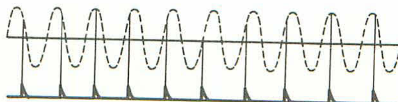


3 図はＵＪＴを用いてゲート・トリガ回路を構成した位相制御回路です。

(1) 電源電圧に対して図のようなトリガ・パルスが出てくる場合，ランプに加わる電圧はどうなるかを，交流電源波形上に重ねて記入しなさい。

(2) R_1 の値を大きくすると，ランプの明るさはどのようになりますか。





8. 位　相　制　御（II）

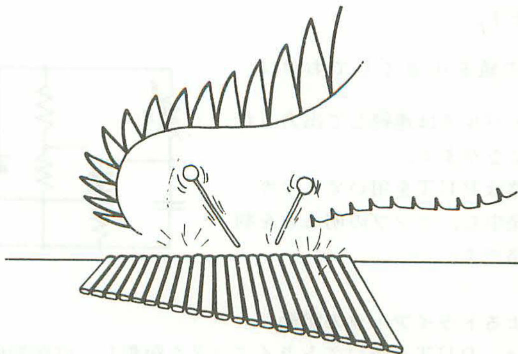
学　習　の　目　標

1．第７章で学習した位相制御を基礎にして，ＰＵＴやダイアックを用いた位相制御について学習する。

⑴　ＰＵＴやダイアックとは，どのような半導体素子か。
⑵　ＰＵＴやダイアックを用いて位相制御を行うには，どのようにすればよいのか。

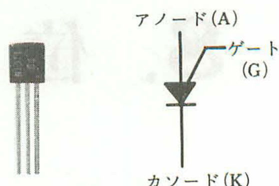
2．ＵＪＴやＰＵＴを用いてトライアックを駆動する方法について学習する。

3．検出器出力に応じて位相制御を行う方法について学習する。



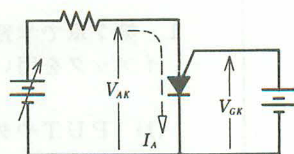
学習の概要

1．PUT（プログラマブル・ユニジャンクション・トランジスタ）



PUTとはアノード(A)，カソード(K)，ゲート(G)と呼ばれる3本の電極をもち，図のような図記号で示される半導体素子で，つぎのような動作をするものです。

(1) 図のようにGK間に電圧（V_{GK}）を加えておき，AK間電圧（V_{AK}）を上昇していくと，V_{AK}がV_{GK}よりもおよそ0.7〔V〕高くなったときAK間がON状態になり，電流I_Aが流れるようになります。

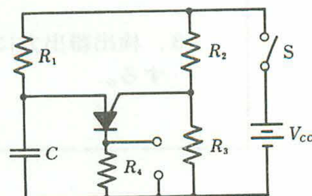


(2) PUTを一度ONにしたのち，もとのOFF状態にもどすには，電流I_Aをある値以下にする必要があります。

この電流値のことを谷電流といっています。

2．PUTによるトリガ発生回路

(1) PUTを図のように接続し，スイッチSをONにすると，一定時間後にトリガ・パルスを発生するようになります。

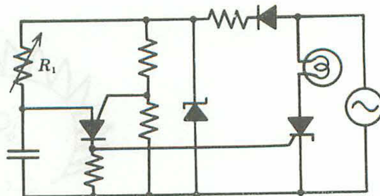


① スイッチSをONにしたのちトリガ・パルスが出るまでの時間は，CとR_1の積によって決まります。

CR_1が大きいほど遅く，CR_1が小さいほど早くなります。

② $\dfrac{V_{CC}}{R_1}$の値を小さくしておけば，トリガ・パルスは連続して出力されるようになります。

(2) 図の回路はPUTを用いてトリガ・パルスを発生し，ランプの明るさを制御する回路です。

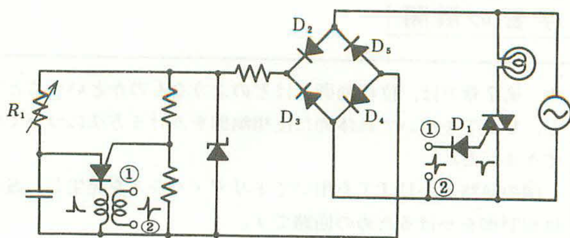


3．PUTによるトライアックの駆動

図の回路は，PUTを用いてトライアックを駆動し，位相制御を行う回路です。

(1) ダイオードD_2～D_5で交流電源の負の半波の期間にもPUT回路に正の電圧が加わるようにし，トリガ・パルスが発生するようにしています。

(2) パルス・トランスを通じてPUT回路で発生したトリガ・パルスをトライアックに結合し，ダイオードD_1でトライアックに負のパルスが加わるようにしています。



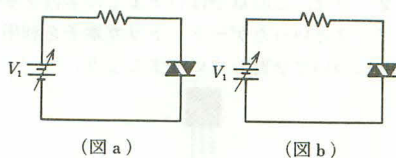
4．ダイアック

(1) ダイアックとは，二つの電極をもち，図のような図記号で示される半導体素子で，つぎのような動作をするものです。

① 図aや図bのように電圧V_1を加え，ダイアックの両端の電圧を上昇していくと，ある値を越えたときに二つの端子間がONの状態になります。

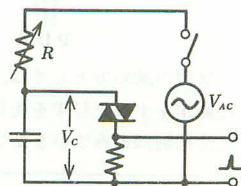
この電圧値のことをブレークオーバ電圧(V_{BO})といっています。

② 一度ONになったあとは，ダイアックに流れている電流がある値以下になると，もとのOFF状態にもどります。



(図a)　　(図b)

(2) ダイアックを図のように接続し，交流電圧(V_{AC})を加えておくと，Rの値によってV_{AC}の任意の位相でトリガ・パルスを発生するようになります。

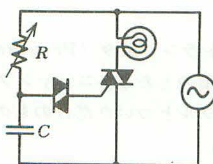


5．ダイアック応用回路

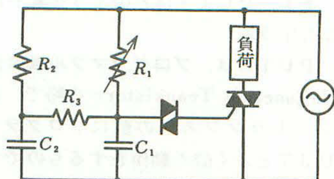
(1) 図aのような回路を構成し，Rを変化すると，ランプの明るさを制御できるようになります。

(2) しかし，図aの回路ではランプを明るくしていくときに急にある明るさになってしまうという欠点があります。

このようなことから，一般には図bのような回路を利用しています。

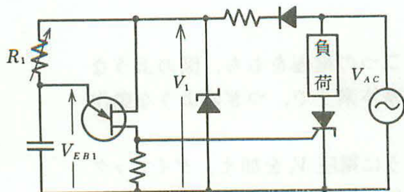


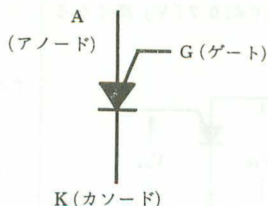
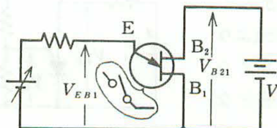
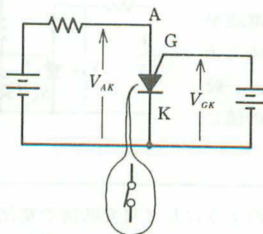
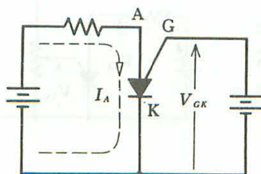
(図a)

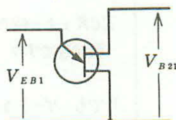
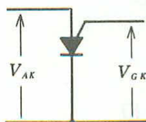
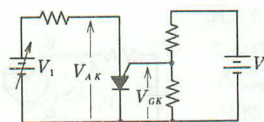
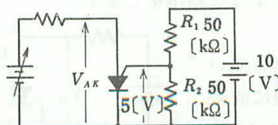
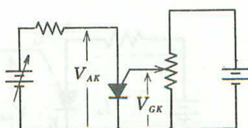


(図b)

学習の展開

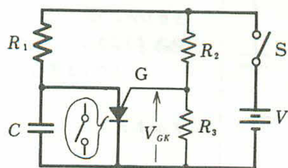
1 第7章では，位相制御とはどのようなものかということを学習し，ＵＪＴを用いて具体的に位相制御をかける方法について学習してきました。 図の回路は，ＵＪＴを用いてトリガ・パルスを発生し，ＳＣＲに位相制御をかけるための回路です。 可変抵抗 R_1 を小さくするとランプは(ア)______くなり，大きくするとランプは(イ)______くなります。 	さあ　スタートだ 「この章で 第2段階の学習は 終了ですョ」 ヨーシ ガンバルで！ (ア)　明る (イ)　暗
2 では，この章ではいままでの学習を基礎にして，ＰＵＴやダイアックといったゲート・トリガ素子を利用して位相制御をかける方法について学習していきましょう。  ＰＵＴ  ダイアック 学習の進め方としては，いままで学習したＵＪＴと非常によく似た動作をするＰＵＴを先に取りあげ，そのあとでダイアックを用いた位相制御をみていきましょう。	まずは PUT から Let's go！
3 **ＰＵＴによる位相制御** まず，ＰＵＴとはどのような素子かということから学習していきましょう。 ＰＵＴとは，プログラマブル単接合トランジスタ（Programable Unijunction Transistor）の略で，言葉のとおりユニジャンクション・トランジスタの前にプログラマブルとついただけのもので，ＵＪＴとよく似た動作をするものです。 しかし，価格がＵＪＴよりも安く，一般の位相制御素子としてよく用いられます。	「PUT の価格は一般に 数10円です」

4　ＰＵＴは図のように，Ａ(アノード)，Ｋ(カソード)，Ｇ（ゲート）という３本の端子をもっており，つぎのような図記号で示されるものです。  	SCRとよく似た図記号ですね 「でも ゲートをつける位置が違うでしょ」
5　それでは，ＰＵＴがどのような動作をするかをみていきましょう。 ＵＪＴの場合は，図のようにB_1 B_2間に電圧V_{B21}を加えておいてV_{EB1}を上昇していくと，V_{B21}の約$\frac{1}{2}$に達したときに EB_1間が(ア)＿＿＿＿の状態になりました。  そして，その後EB_1間に流れる電流を減少していって，谷電流値以下になれば，もとの(イ)＿＿＿＿の状態にもどりました。	(ア)　ＯＮ　(イ)　ＯＦＦ UJTについてはもう バッチリ
6　ＰＵＴもＵＪＴと同じような動作をします。 図において，ＧＫ間に加えている電圧V_{GK}よりも，ＡＫ間に加えている電圧V_{AK}のほうがおよそ0.7〔V〕程度高くなると，ＰＵＴのＡＫ間がＯＮの状態になります。  	「違いを はっきりして下さいョ」 ハイ ハイ
7　そして，その後ＡＫ間に流れている電流I_Aを減少していき，谷電流値以下になると，もとのＯＦＦの状態にもどるというものです。  	ここの動作はどれも 同じだなー 「覚えやすいでしョ」

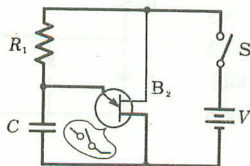
8　すなわち，図 a のＵＪＴでは，V_{EB1} が V_{B21} の約$\frac{1}{2}$の値になると EB_1 間がＯＮになりました。 しかし，図 b のＰＵＴでは，V_{AK} が V_{GK} より約 0.7〔V〕高くなるとＡＫ間がＯＮになります。  （図a）ＵＪＴの場合  （図b）ＰＵＴの場合	「ここが ポイントですよ」 ok！
9　したがって，図のように電圧 V_{GK} を加えておいて V_1 を増加していくと，V_{AK} の値が V_{GK} の値よりもおよそ＿＿＿＿〔V〕高くなったときＡＫ間がＯＮの状態となります。 	0.7 フン フン
10　つまり，図のように V_{GK} として 5〔V〕の電圧がかかっている場合には，V_{AK} が＿＿＿＿〔V〕以上になればＡＫ間がＯＮになります（G端子にはほとんど電流が流れませんから R_1，R_2 はかなり大きな値にしても問題はなく，一般には数十キロ・オーム程度の値にしています）。 	5.7 フン フン 「じゃ VGK をかえると どうなるかな」
11　そして，V_{GK} の値を図のようにして可変抵抗で変化させると，ＯＮにするＡＫ間電圧も自由に設定できるようになります。 名称にプログラマブルとついているのは，このようにＧＫ間電圧によってＰＵＴをＯＮにするＡＫ間電圧を自由に設定できるということからです。 	なるほど プログラマブルは VGKの働きと いうわけか 「そういうこと」

12　このようにＰＵＴとＵＪＴとは，図記号や端子記号は異なりますが，ほとんど同じような動作をします。

では，ＰＵＴを図ａのように接続した場合を考えてみましょう。



（図ａ）



（図ｂ）

図ｂはすでに学習したＵＪＴの回路ですが，これらの回路は太線で示したようにほとんど同じといえます。

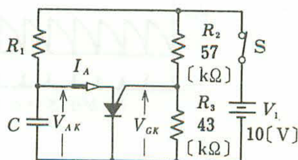
ただ，ＵＪＴの場合はB_2端子を直接電源に接続していたのが，ＰＵＴでは抵抗R_2，R_3を通じてＧ端子に接続しているという点が異なるだけです。

「素子の接点部は どちらも コンデンサ両端に 接続されているでしョ」

フン フン

13　ＰＵＴをこのように接続すると，いままでのＵＪＴと同じようにトリガ・パルスを発生するようになります。

では，回路の動作を順にみていきましょう。

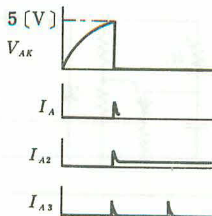


① スイッチＳを入れるとV_{GK}の電圧はR_2，R_3に57〔kΩ〕，43〔kΩ〕を接続していますから(ア)＿＿＿＿〔V〕となります。

一方，V_{AK}はR_1を通じてCが充電されるため，徐々に(イ)＿＿＿＿していきます。

(ア)　4.3

(イ)　上昇



② V_{AK}が5〔V〕に達すると，ＰＵＴは(ウ)＿＿＿＿となり，急激な放電電流(I_A)がＡＫ間を流れます。

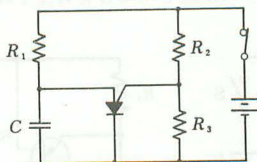
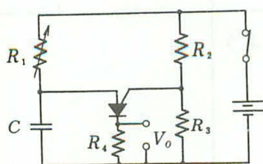
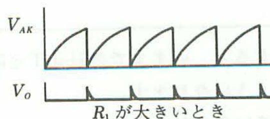
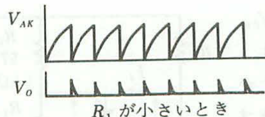
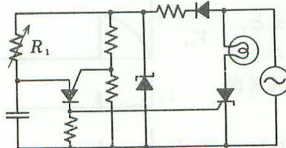
(ウ)　ＯＮ

③ そして放電終了後にＰＵＴを流れる電流(I_A)が谷電流値以上のときはＯＮを持続し，I_{A2}のようなＡＫ間電流が流れます。

また，谷電流値以下の場合はＯＦＦとなり，再度充電され，I_{A3}のように連続したパルス電流が流れます。

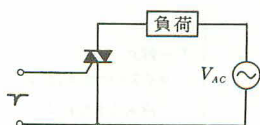
ナルホド　ＵＪＴと ほとんど 同じ 動きだなあ

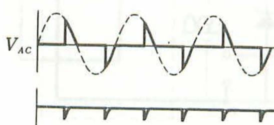
「……でしょ」

14　ＵＪＴに対して，ＰＵＴの場合は一般に谷電流値が非常に小さいため，R_1 の値をかなり大きくしなければ連続的なトリガ・パルスを取り出すことはできません。 一般にＰＵＴの谷電流値は，数 10～100〔μA〕程度で非常に小さく，発振させて利用しようという場合は，R_1 の値として 100〔kΩ〕程度以上のものを用いる必要があります。  	「一般には 前章で学習したように発振するようにしています」 ナルホド
15　そして，図のようにカソードに抵抗 R_4 を入れて，その両端から出力を取り出すようにしておき，R_1 を変化させると，トリガ・パルスが出る位置を図のように変化させることができるようになります。 すなわち，ＵＪＴの場合と同じような動作をさせることができるわけです。   R_1 が大きいとき  R_1 が小さいとき	UJTとよく似てるんだナア… 「しかし 違いは よく覚えて おいて下さいヨ」 ハイ ハイ 「プログラマブルということでしョ」
16　図の回路は，ＰＵＴを用いてＳＣＲに位相制御をかけ，ランプの明るさを変化させる回路です。 R_1 の値を小さくすればランプは(ア)＿＿＿＿くなり，大きくすればランプは(イ)＿＿＿＿くなります。  	(ア)　明る (イ)　暗
17　以上でＰＵＴとはどのようなものか理解できたと思います。 ところで，いままではＵＪＴやＰＵＴを用いて，ＳＣＲを駆動することを中心に学習してきました。 しかし，ＳＣＲでは交流の半波しか位相制御をかけることができません。	ウーン 全波の位相制御もほしいナアー

18　そこで次に，トライアックを利用して交流の正の半波に対しても負の半波に対しても位相制御がかけられるようにするにはどうすればよいのかを学習していきましょう。

このようにするためには，正の半波でも負の半波でもトリガ・パルスを発生させる必要がありますし，また，そのトリガ・パルスの極性は図のように負でなければなりません。





なぜ 負でないと ダメなのかな？

「覚えてないかな トライアックに図の電圧を加えるときは，感度に不安定さがあったでしょ」



19　では，負の半波でもトリガ・パルスを発生し，またトライアックに負のトリガ・パルスが加わるようにするには，どうすればよいでしょうか。

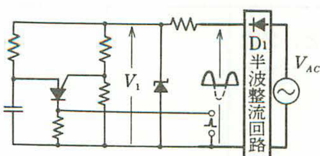
まず，負の半波の期間でもトリガ・パルスを発生させる方法から考えてみましょう。

いままでは，ダイオードD_1を用いて交流電源の正の半波だけを，ＰＵＴ回路に加えていました。

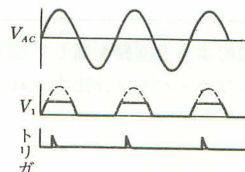
ですから，電圧V_1も図のようになり，負の半波の期間にはトリガ・パルスが発生しなかったのです。

ところで，図ｃのように交流電源の負の半波も正方向の電圧になるような回路をつけて，この出力をＰＵＴに加えるとどうでしょう。

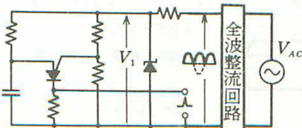
このような回路にすると，ＰＵＴの回路に加わる電圧V_1は図ｄのようになり，交流電源(V_{AC})が負になっている期間にもトリガ・パルスが出るようになります。



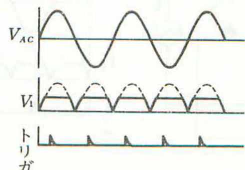
（図ａ）



（図ｂ）



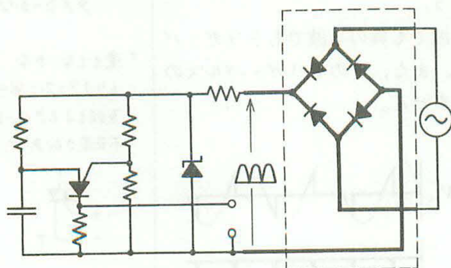
（図ｃ）



（図ｄ）

「図ａのように，交流電圧から，正の半波だけを取り出す回路を半波整流回路といい，図ｂのように，正，負ともに，出力には 正の電圧を取り出すような回路のことを，全波整流回路といっています」

20 このような動作をする回路は，四つのダイオードを用いて図のように構成すると得られます。



「一般に
ダイオードブリッジと
呼んでるんだよ」

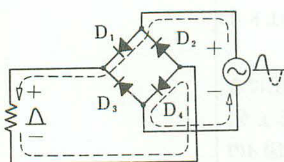
21 ダイオードを図のように接続しておくと，交流電源の正負いずれの半波のときにもつぎのような動作をして，常に正の電圧が得られます。

(1) 交流電源が正の期間には，図 a のようにD_1，(ア)＿＿＿＿を通じて正の電圧を出します。

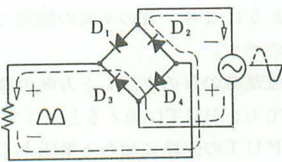
(2) 交流電源が負の期間には，図 b のようにD_3，(イ)＿＿＿＿を通じて正の電圧を出します。

(ア) D_4

(イ) D_2



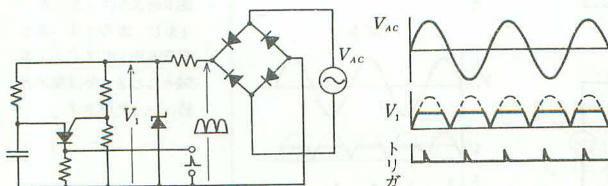
（図 a） 正の半波のとき



（図 b） 負の半波のとき

「抵抗に
流れる電流の方向は
同じになるでしョ」

22 すなわち，交流電源を図のような回路を通して加えると，交流電源の負の半波の期間でもトリガ・パルスが出力されるようになります。



そこで このPUTの出力を
トライアックに
加えれば，いいわけだ

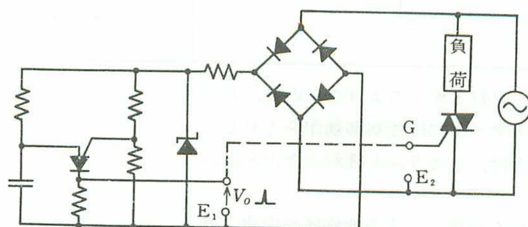
「次のフレームへ
どうぞ」

23 ところで，このようにして交流電源の正の半波でも負の半波でもトリガ・パルスを取り出せても，このトリガ・パルスを図のように直接トライアックに加えることはできません。

それは，つぎの二つの理由によります。

(1) トリガ出力端子の接地側 E_1 と，トライアックのトリガ・パルスを加える端子の接地側 E_2 が共通でないため，単に破線のように接続しても，ＰＵＴの出力電圧(V_0) がトライアックのＧE_2 間に加わらない。

(2) トリガ・パルスの極性が正になっているため，破線のように接続するとトライアックの動作が不安定になる。



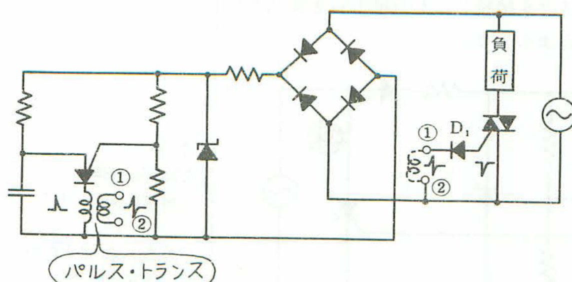
じゃ
どうすれば
いいのかな

「次のフレームへ
どうぞ」

24 そのため，一般にこのような場合は，図のようにＰＵＴのトリガ・パルス出力を変圧器を用いてトライアックのGT_1 間に結合し，さらに図のようにダイオード(D_1)を接続して負のパルスが加わるようにしています。

このようなところで使う変圧器は，パルス信号に対してよい特性をもつパルス・トランスと呼ばれているものが使われます。

ＰＵＴの出力をこのようにパルス・トランスを用いて結合する方法はよく用いられますから覚えておいてください。



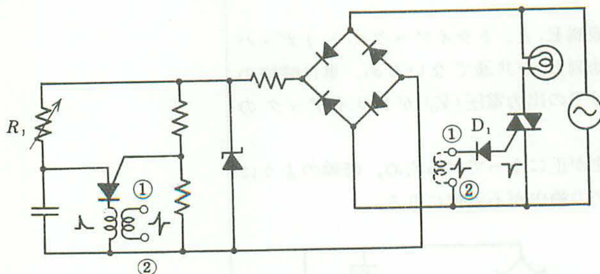
この場合の変圧器は
電圧の大きさをかえるのが
目的じゃない
わけですね

「そういうこと」
「トリガ・パルスを
結合するためのものです」

25　図の回路はＰＵＴを用いてトライアックを駆動し，ランプの明るさを制御しようとした回路です。

○R_1を小さくする ⇨ ランプが(ア)＿＿＿＿くなる。

○R_1を大きくする ⇨ ランプが(イ)＿＿＿＿くなる。



(ア)　明る

(イ)　暗

全波整流回路とパルス・トランスがポイントですね

「そう いう こと」

26　いままでの学習で，ＵＪＴやＰＵＴがどのようなものか，さらにこれらを用いてＳＣＲやトライアックに位相制御動作をさせるにはどうすればよいのかということは，じゅうぶん理解できたと思います。

ところで，いままでは可変抵抗を利用し，その抵抗値を変化させることによって負荷を制御していました。

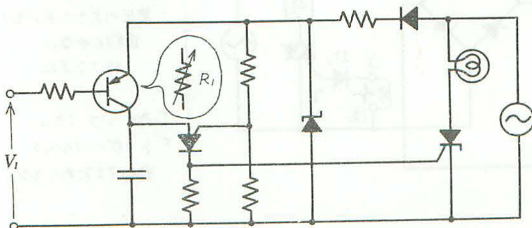
検出器を用いて負荷を制御する方法は，まだ学習していません。

「いよいよ位相制御に 検出器が つくわけですよ」

27　そこで，ダイアックの学習にはいる前に，検出器からの出力を用いて位相制御するにはどうすればよいのか，またこのような位相制御を応用するとどのような利点があるのかということについて学習しておきましょう。

ＯＫ
楽しみだナァ―

28　ＰＵＴを用いた図のような回路で，いままで可変抵抗R_1がつけられていたところにトランジスタを接続し，入力電圧V_1を変化させるとどのようになるか考えてみましょう。



ウーム
だんだん 回路が 複雑になってきたぞ

「外見に まどわされちゃ ダメ ですヨ」

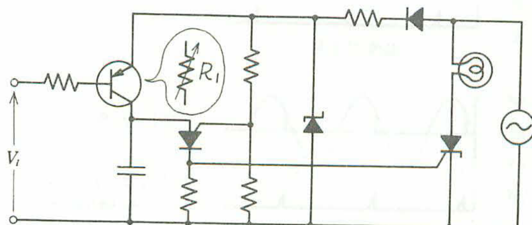
29 いままでは R_1 を通じてコンデンサを充電していましたが，このようにトランジスタを通じてコンデンサの充電電流を流すようにすれば，つぎのような動作をするようになります。

V_I が大きいときは I_B がほとんど流れず，トランジスタのコレクタ電流（コンデンサへの充電電流）もほとんど流れません。

したがって，トリガ・パルスの出る位置は遅くなり，ランプはほとんど点灯しません。

ところが，V_I が小さくなると，トランジスタのコレクタ電流（コンデンサへの充電電流）が大きくなり，トルガ・パルスも(ア)________く出て，ランプは(イ)__________くなります。

(ア) 早
(イ) 明る

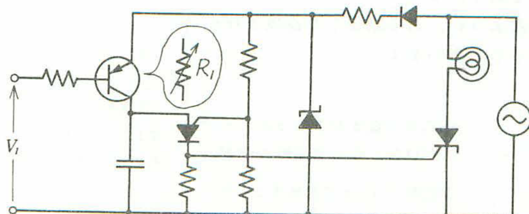


ナルホド
コンデンサへの
充電速度を V_1 で
コントロールするわけだ

「そう いう こと」

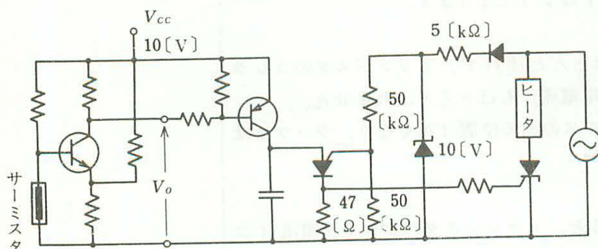
30 いままでは，可変抵抗を用いてランプの明るさを連続的に変化させていましたが，このようにトランジスタを用いてコンデンサの充電電流を変化させるようにすれば，電圧（V_I）で負荷を制御できます。

すなわち，V_I のところに検出器からの出力を加えると，自動的に負荷を制御することができるようになるわけです。

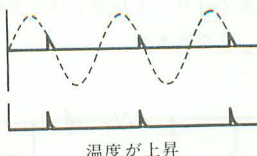


ナルホド
ナルホド

31　図の回路は，このような位相制御を利用して，サーミスタで検出した温度に従ってヒータを制御しようとした回路です。

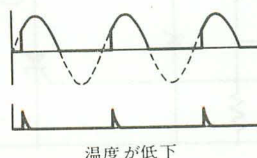


温度が上昇すると V_o が(ア)＿＿＿＿し，コンデンサの充電電流が少なくなってトリガ・パルスの発生が遅れ，ヒータはあまり駆動されません。



温度が上昇

反対に，温度が低下すると V_o が減少し，コンデンサの充電電流が(イ)＿＿＿＿くなってトリガ・パルスの発生が早くなり，ヒータが駆動される時間も長くなります。



温度が低下

(ア)　上昇

(イ)　大き

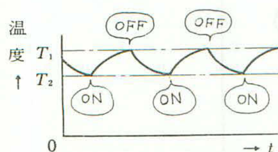
「いよいよ電子制御回路らしくなってきたでしょ」

32　さて，このような方法で負荷を制御すると，どういう利点があるでしょうか。

第6章で学習したＯＮ－ＯＦＦ制御による温度制御回路の場合は，温度に応じてヒータが完全にＯＮになるか，完全にＯＦＦになるかのいずれかの状態しかとれませんでした。

したがって，たとえば電気炉内の温度を検出し，ヒータを制御して一定の温度に保とうという場合でも，温度が低くなるとヒータを駆動し，その後，ある温度まで高くなるとヒータを切って，温度が低下するのを待つという断続的な動作になります。

そのため，温度制御特性は図のように，ある設定した温度を中心にして上下に変動する特性になってしまいます。



○T_2 まで温度が下がるとヒータがＯＮとなって温度が上昇。

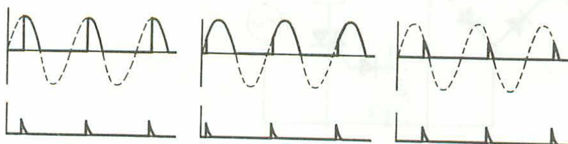
○温度が T_1 まで上昇するとヒータがＯＦＦとなって温度が下降。

フン　フン

一定温度にコントロールすることはなかなかむづかしいわけですね

「そういうこと」

33 これに対して，連続的に負荷を制御できる位相制御を用いた温度制御回路の場合は，図 a のように常に平均的にヒータが駆動されており，すこしでも温度が上昇したり下降したりすると，図 b，図 c のようにすぐにトリガ・パルスの位置が変化して，その修正動作をするようになります。

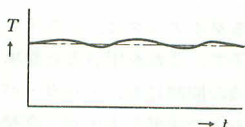


（図 a） 通常　　（図 b） 温度が低下したとき　　（図 c） 温度が上昇したとき

なるほど ——

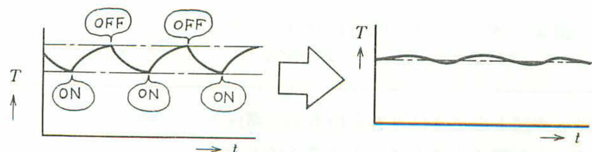
連続的に 負荷を制御 できるんだからなあ

34 ですから，このような位相制御を応用した連続的な制御法では，温度をある値に設定した場合，図のように非常に精度のよい温度特性が得られます。



温度変化の少ない なめらかな制御が できるわけか

35 位相制御の最大の利点は大電力負荷を連続的に制御できるということで，これを応用すると，このように温度制御を行う場合などでも非常に高度な制御が可能になります。



ON-OFF制御による温度制御　　位相制御による温度制御

「位相制御を勉強してきたかいが あったかな 」

バッチリ

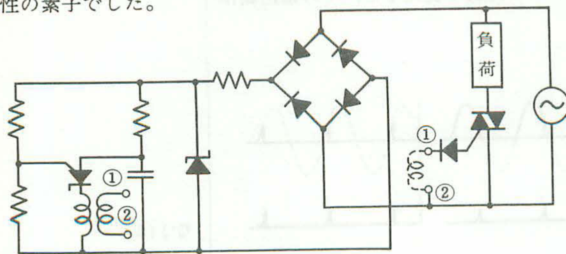
36 これまでの学習でＰＵＴとはどのようなものか，さらにＰＵＴを用いてＳＣＲやトライアックを駆動し，位相制御をかけるにはどのようにすればよいのかということについて学習してきました。

では次に，ダイアックについて学習しましょう。

「いよいよ 最後の ゲート・トリガ素子 ですョ 」

37　ダイアック

いままで用いてきたＵＪＴやＰＵＴは，ＳＣＲと同じように一方向性の素子でした。



そのため，ＰＵＴでトライアックを駆動する場合には，図のように全波整流回路やパルス・トランスを用いて交流電源の負の半波でも駆動できるようにくふうしました。

「回路の動作は
もう OK ですネ」

バッチリです

38　その点，これから学習するダイアックは，トライアックの駆動用として開発されたトリガ素子で，これを用いると簡単に交流電源の正の半波の期間にも負の半波の期間にも，トリガ・パルスが出せるようになります（ただし，あとで学習しますが，高精度の位相制御には不向きな面があります）。

トライアック駆動用として
便利に　つくられている
わけだナ

39　ダイアックとは，二つの電極をもった図ａのような半導体素子で，図ｂのような図記号で示されるものです。



（図ａ）　ダイアックの外観

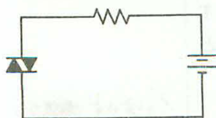


（図ｂ）　ダイアックの図記号

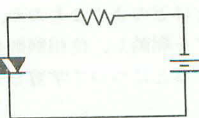
「図記号も
トライアックに
似てるでしょ」

40　そして，その動作は，図ａや図ｂのようにどちらの方向に電圧を加えても，ある値まではほとんど電流を流さず，ある電圧値を越えるとＯＮになり，急激に電流が流れるという素子です。

そして，電流を減少していって，ある電流値以下になれば，もとのＯＦＦ状態にもどります。



（図ａ）

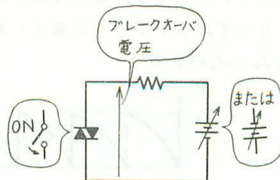


（図ｂ）

フーン　どちらの方向にも
電流を流すことが
できるのか

「そういうこと」

41 ここで図のようにダイアックの2端子間の電圧を上昇していき，ＯＮになるときの電圧のことを，電流が流れるのを阻止していた状態がこわされるという意味から，**ブレークオーバ電圧**（V_{BO}）といっています。



「素子は こわれませんから
ご安心 下さい」

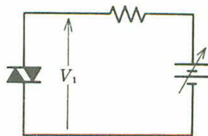
42 一般のダイアックの場合は，この値が30～40〔V〕程度です。

つぎの表は ＭＡ62 というダイアックのブレークオーバ電圧を示しています。

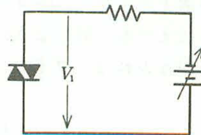
ブレークオーバ電圧	30〔V〕

したがって，つぎの図ａ，図ｂの回路は，ともに V_1 が＿＿＿＿〔V〕になるとダイアックがＯＮになって，回路に電流が流れます。

30



（図ａ）



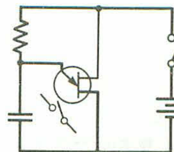
（図ｂ）

そして，いままでのサイリスタと同じように，一度ＯＮになったのちは，ダイアックを流れる電流がある電流値以下になると，もとのＯＦＦ状態にもどります。

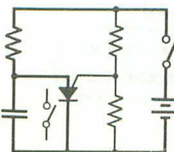
ナルホド
OFF に戻る過程は
どれも同じというわけか

43 では，このダイアックを用いて，どのようにしてトリガ・パルスを発生させるかということですが，基本的にはすでに学習したＵＪＴやＰＵＴの場合と同じことです。

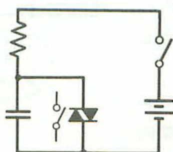
すなわち，図ｃのように抵抗とコンデンサを接続し，コンデンサの両端に素子の接点部を接続すればよいのです。



（図ａ） ＵＪＴ



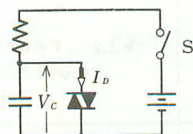
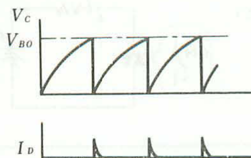
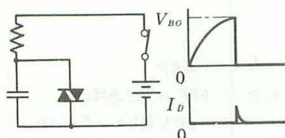
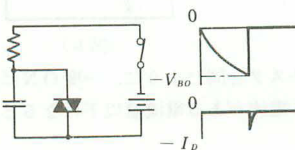
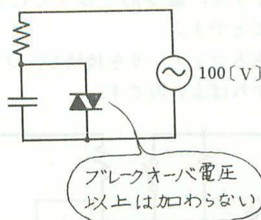
（図ｂ） ＰＵＴ



（図ｃ） ダイアック

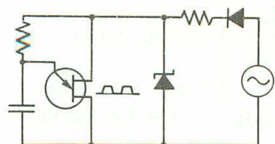
基本的には
コンデンサの充電を
利用しているわけですね

「そういうこと」

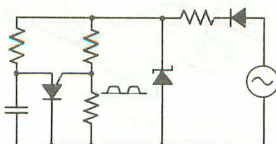
44　図aの回路で，スイッチSをONにするとコンデンサの電圧が徐々に上昇していき，その値がブレークオーバ電圧 V_{BO} に達するとダイアックは＿＿＿＿＿＿となって，コンデンサに蓄えられていた電荷が急激に放電され，電流 I_D が流れます。  (図a)  (図b) そして，コンデンサからの放電電流がなくなると，ダイアックを流れる電流は電源からの電流だけになります。 この値が谷電流値以下であれば，UJTやPUTの場合と同様にトリガ・パルスを連続して出すようになります。 ダイアックの谷電流値は非常に大きいので，通常は抵抗の値をかなり小さくしても連続したトリガ・パルスが得られます。	ON 「ダイアックの谷電流値は非常に大きいので，実際には ON状態を保持するような電流を流すと，破損してしまいます」 フーン
45　このダイアックは双方向性の素子ですから，図aのように電圧を加えても，図bのように電圧を加えても，同じように動作します。 ただし，図bのように負の電圧がかかれば，ダイアックを流れる電流も逆方向の電流になります。  (図a)  (図b)	正，負 両方向のトリガ・パルスが得られるんだナ 「これがダイアックの特徴なのです」
46　では，この回路に図のように100〔V〕の交流電圧を加えるとどうでしょう。 UJTやPUTの場合は耐電圧が低く，しかも一方向性ですから，100〔V〕の交流電圧を直接加えることはできませんでした。 しかしダイアックの場合はブレークオーバ電圧を越えると自動的にONになってそれ以上の電圧がかかることはなく，しかも双方向性の素子ですから，100〔V〕の交流電圧を直接加えることができます。  	フーン じゃ 整流用のダイオードなどが必要ないわけだ

47 これまで学んできた図ａ，図ｂのようなＵＪＴやＰＵＴの場合は，電源は交流ですが，素子は正だけの電圧で駆動していました。

フン フン



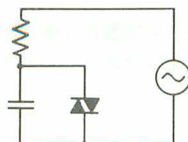
(図ａ) ＵＪＴの場合



(図ｂ) ＰＵＴの場合

48 ところが，いまの場合は図のようにダイアックに交流の正弦波を直接加えるわけです。

したがって，その回路動作はいままでとはすこし異なってきます。



フーン

「次のフレームへ
どうぞ」

49 では，実際にどのような違いがあるのかをみていきましょう。

抵抗 R_1 の値を変化させたときのコンデンサ両端の電圧に着目してください。

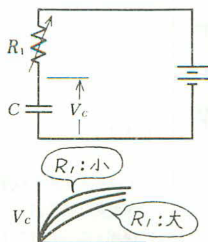
いままでの回路のように直流電圧が加わった場合には，図ａのようにコンデンサの両端の電圧 V_C は，R_1 が大きければ遅く，小さければ＿＿＿＿＿＿く上昇してきました。

早

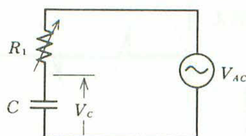
それでは，図ｂのように交流電圧 V_{AC} が加わった回路で R_1 の値を変化させると，コンデンサ両端の電圧 V_C はどうなるでしょうか。

同じように 考えちゃ
いけないのかな

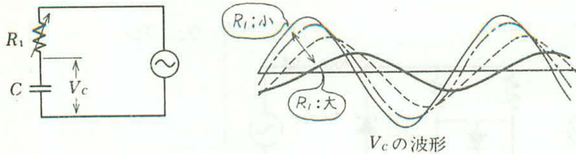
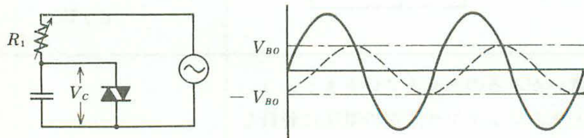
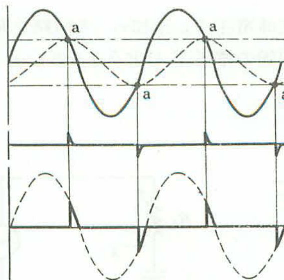
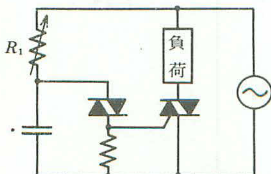
「次のフレームへ
どうぞ」



(図ａ)



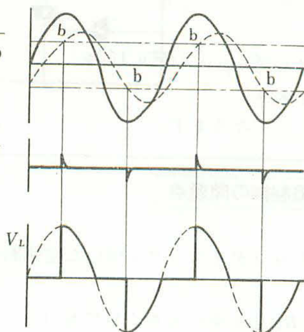
(図ｂ)

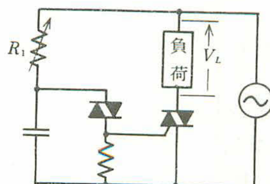
50　図の回路で抵抗 R_1 を変化させると，コンデンサの両端の電圧 V_C は R_1 の値に応じてつぎのように変化します。  V_C の波形 すなわち，抵抗 R_1 が小さければ小さいほど，コンデンサの両端の電圧 V_C は電源電圧の波形に近くなりますし，逆に R_1 が大きくなればなるほど，振幅は小さくなり，位相も 90° ずれてきます。	フーン こんなになるのか 「よりくわしく知りたい人は『交流回路編』を学習して下さい．」
51　それでは，ダイアックにこの電圧 V_C を加えるとどのようになるでしょうか。 まず，抵抗 R_1 の値を非常に大きい状態から徐々に減少していき，V_C の値が図の破線のようにダイアックのブレークオーバ電圧に達した状態を考えてみましょう。  	ダイアックが ON になるわけでしょ
52　この場合は，各波形の点 a のところでダイアックが ______ となり，トリガ・パルスを出します。 ですから，この出力を図のようにトライアックに接続しておくと，図のような電圧が負荷にかかるようになります（この場合のトリガ・パルスの極性は，交流電源の正のときは正，負のときは負となりますから，トライアックに直接加えても問題ありません）。   	ON なるほど 「トライアックの感度の不安定な状態は使用しないわけですヨ」 フン　フン

53 では，R_1の値をさらに小さくして，コンデンサ両端の電圧 V_C を図のようにするとどうでしょう。

この場合には，各波形の点bのところでダイアックが＿＿＿＿＿となって，トリガ・パルスは図の位置で発生します。

この出力をトライアックに加えておくと，図のような電圧 V_L が負荷にかかります。





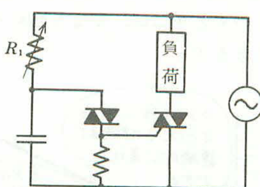
ON

ナルホド
50フレームのところが
ポイントだな

「そウ いウ こと」

---

54 すなわち，図のように接続して抵抗 R_1 を変化させると，うまく位相制御がかけられるようになります。

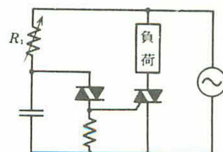


R_1によって
自由に制御できる
わけか

---

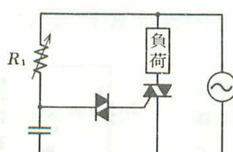
55 ところで図aではダイアック出力を抵抗で取り出していますが，トライアックのGT_1間には抵抗が内蔵されたものもあります。

したがって，この抵抗を省略し，図bのようにダイアック出力で直接トライアックを駆動する場合もあります。



(図a)





(図b)

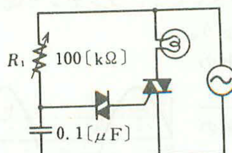
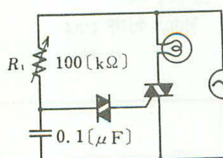
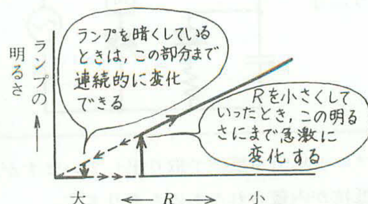
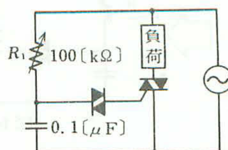
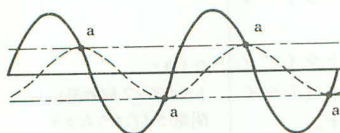
「回路も
ちょっと簡単に
なりますネ」

---

56 いままでのようにＵＪＴやＰＵＴを用いた場合は，トライアックを駆動するときはかなりめんどうな回路になりました。

ところが，ダイアックを用いると，このように簡単にトライアックに位相制御動作をさせることができるため，ダイアックはトライアックの位相制御素子として非常によく利用されています。

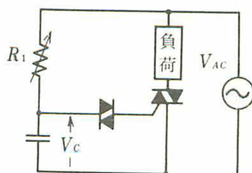
なるほど
トライアック駆動用として
開発されたものだから
なあー

57　図の回路は，ダイアックを用いてトライアックを駆動し，ランプの明るさをコントロールしようとする回路です。 抵抗 R_1 を小さくするとランプは(ア)＿＿＿＿くなり，R_1 を大きくするとランプは(イ)＿＿＿＿くなります。  	(ア)　明る (イ)　暗
58　ダイアックによる位相制御の問題点 ところで，この非常にべんりなダイアックを用いた位相制御にもすこし問題があります。 それは，図の回路で抵抗 R_1 を非常に大きくしておいて，そこから徐々に小さくしていくと，ランプは徐々に明るくなるのではなく，急激にある程度の明るさになってしまうという現象です（逆に，抵抗 R_1 を小さくし，ランプを明るくしておいて，そこから R_1 を徐々に大きくしてランプを暗くしていくときには，かなり暗いところまで連続的に変化させることができます）。   	「このような現象をヒステリシス現象といっています」 「行きと帰りがちがってくるんですョ」
59　それでは，なぜこのような現象を生じるのか，また，どのように改善しているのかということについて最後に学習しておきましょう。 いままでの学習では，抵抗値を小さくしていってコンデンサ両端の電圧が図の破線のようになったとき，常に点 a のところでトリガ・パルスが出ると考えていました。   	「ヒステリシスを改善しなくてはよい制御はできませんョ」 OK！

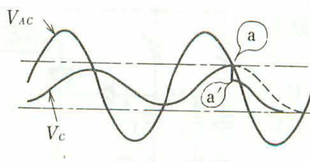
60 しかし，実際にはこのようになりません。

抵抗値を小さくしていき，図 b の点 a でダイアックがONになると，コンデンサは放電し，コンデンサ両端の電圧 V_C がa′のように低下してしまうのです。

つまり，コンデンサ両端の電圧 V_C は波線のようにはならず，実線のようになるわけです。



（図 a）



（図 b）

ウーン
この波形の変化が
問題となるわけだな

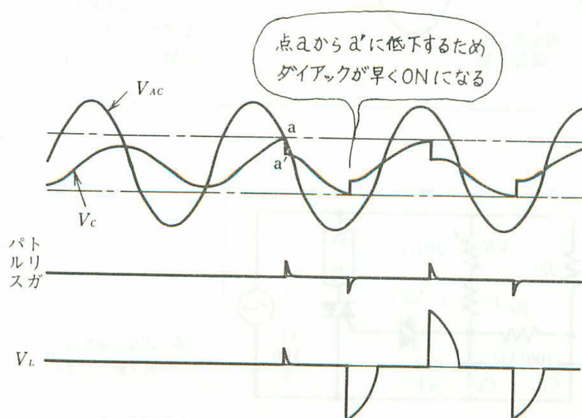
「そう いう ことです」

61 すると，次にダイアックがONになるのは，どこになるでしょうか。

図のように，次の波形からはかなり早い時点でダイアックがONになってしまいます。

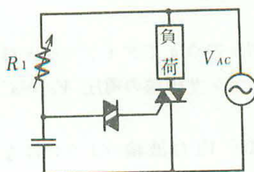
そして，トリガ・パルスも図のようになって，負荷に加わる電圧 V_L は急激に大きくなってしまいます。

つまり，抵抗値を大きな値から徐々に小さくしていくと，いくらゆっくり変化させても，ランプは急に明るい状態になってしまうわけです。



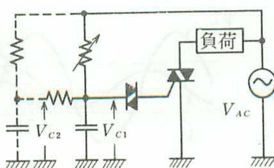
なーるほど
これが原因で
ヒステリシスが
発生するわけか

62　ダイアックは，トライアックを非常に簡単に駆動できるという利点はありますが，図のような回路では，抵抗値を小さくしていったとき，急にある大きさの電圧が負荷にかかってしまうという欠点があるわけです。



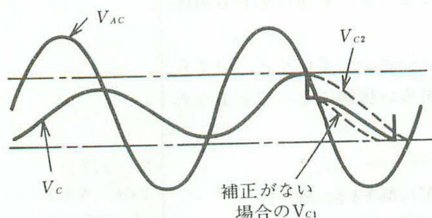
「欠点はすぐ改善しなくてはいけませんョ」

63　そこで，この対策として，一般には図 a のように破線の回路をつけ加えて電圧 V_{C2} をつくり，ダイアックがONになって電圧 V_{C1} が低下したのを補正するようにしています。



（図 a）

このようにすると，図 b のように，電圧 V_{C1} は電圧 V_{C2} によって図中の実線のようにすこし補正されるようになります。



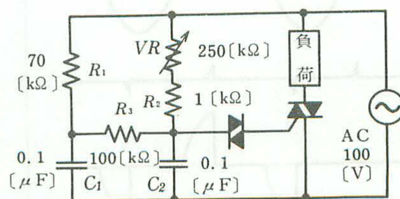
（図 b）

なるほど うまく 考えてるなあ

「このような回路をヒステリシスフリー回路といっていますョ」

64　図は，このような回路を応用したランプの調光装置です。

抵抗 R_2 は，たとえ V_R を 0〔Ω〕にしてもダイアックに過大な電流が流れるのを防止するためのものです。

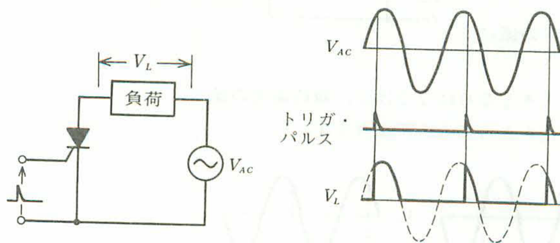


「第二段階の学習はこれで終了です。

ご苦労さんでした。」

進んだ学習：ゼロボルト・スイッチ

1　いままでの学習では，図のようにＳＣＲやトライアックにトリガ・パルスを加えるタイミングをうまく制御して，負荷への電力を連続的に制御するという位相制御について学習してきました。



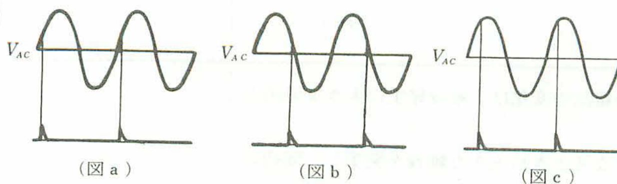
フン　フン

ここは　もうバッチリ

2　ところで，このような位相制御にはすこし問題があります。

図ａや図ｂのタイミングでトリガ・パルスが加わっている場合には問題ないのですが，図ｃのように交流電圧がかなり大きくなった時点でトリガ・パルスが加わるような場合には問題があるのです。

（わかりやすくするために，図はＳＣＲの場合を例に取り扱っていきます。考え方はトライアックの場合も同じことです）

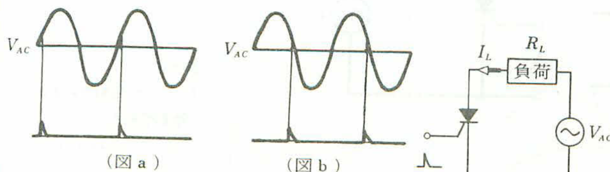


（図ａ）　（図ｂ）　（図ｃ）

フーン
どこが 問題なのかなあ

「あとで 学習しますが
実は 妨害雑音を
発生するのです」

3　図ａや図ｂの場合では，交流電圧 V_{AC} の値がまだ小さいため，ＳＣＲがＯＮになっても大きな電流が急激に流れ始めるということはありません。



（図ａ）　（図ｂ）

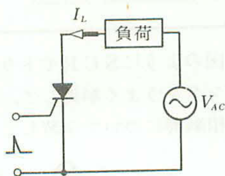
フン　フン

SCRが ONになった
瞬間の電流 i_L は

$$i_L = \frac{v_{AC}}{R_L}$$

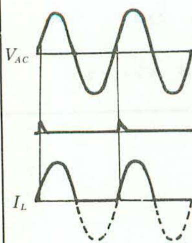
だからなあ

4　それに対して，図 c の場合には交流電圧 V_{AC} がかなり大きな値になっているため，トリガ・パルスが加わってＳＣＲがＯＮになると，I_L はある値まで急激に増加するわけです。

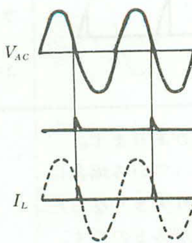


つまり，図 c の場合には I_L の値に急激な変化が生じるわけです。

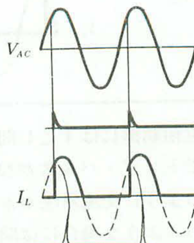
そして，負荷の定格電力が大きくなればなるほど，負荷電流の値が大きくなるため，電流の変化もさらに大きくなります。



（図 a ）



（図 b ）



負荷電流 I_L が急激に増加する

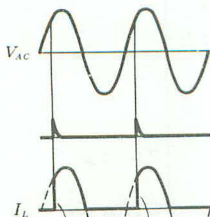
（図 c ）

「この電流変化が，
この学習の焦点
なんですョ」

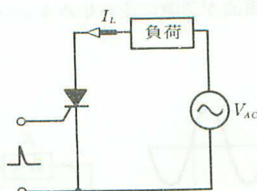
ハハーン
雑音発生の原因と
なるわけだな

5　このような急激な回路電流の変化は，雑音発生の大きな原因となります。

つまり，ＳＣＲがＯＮになるときに大きな雑音を発生し，周辺の電気機器に防害を与えるようになるわけです。

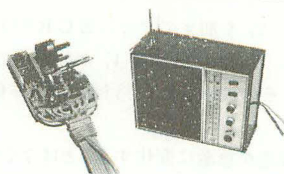
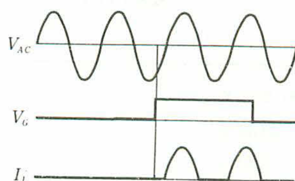
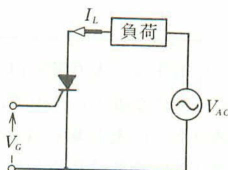
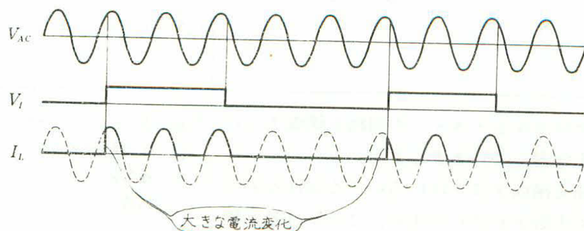


この電流変化が
雑音発生の原因となる



フーン
すると　位相制御装置は
雑音発生源と
なるわけだ．

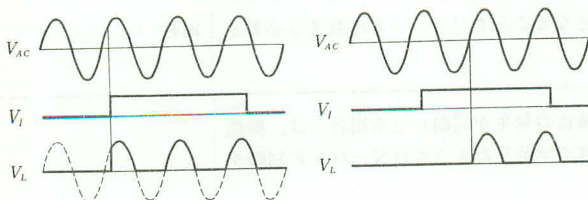
「さーすが」

6　たとえば，位相制御を利用した回路のそばにラジオを近づけてみてください。 ラジオにはザーッという雑音がはいるようになりました。 	「位相制御回路をつくったときは，一度実験してみて下さい。」
7　すなわち，位相制御は負荷を連続的に制御するという意味では非常によい方法なのですが，大きな電流変化を生じるということから，＿＿＿＿＿の発生源となることをじゅうぶん注意する必要があるわけです。	雑音
8　そのため，このような雑音の発生が問題になる場合には，機能上，許される範囲で，第6章で学習したようなON－OFF制御を利用しています。  	なるほど ON，OFF制御なら急激な電流変化が起こらないわけだ。 「次のフレーム，どうぞ」
9　しかし，ON－OFF制御の場合も，図のように入力電圧 V_I を加えた最初の時点では大きな電流変化を生じる場合があります。 したがって，図のようにON，OFFをひんぱんに繰り返すようになれば，やはり問題があるわけです。 そこで，ON－OFF制御とはいっても，入力電圧 V_I を加え始めた最初の時点でも，このような急激な電流変化を生じないようなくふうをしています。 	フン フン 最初の一度だけは問題があるなあ でも どのような工夫をしているのかな

10　つまり，図aのように V_I を加えてすぐにＳＣＲやトライアックを動作させるのではなく，図bのように V_I が加わってから次の正弦波がくるのを待って，その波形の0〔V〕付近からＳＣＲをONにするわけです。

このようにすれば負荷電流が急激に変化することはなくなります。

このような動作をする回路を**ゼロボルト・スイッチ回路**とか，**ゼロクロス・スイッチ回路**といっています。



（図ａ）　　（図ｂ）

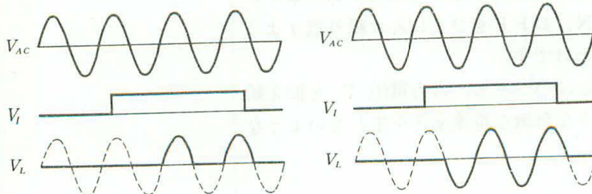
ゼロボルトのところで，SCRをONにしたり，OFFにしたりするから，ゼロボルトスイッチだな

「そうなんです。雑音の発生を軽減するためにネ」

11　つまり，第6章で学習したように，入力電圧(V_I)が加わるとすぐにＳＣＲやトライアックがONになるというのではなく，急激な電流変化を避けるために，図のように入力電圧(V_I)が加わってから次の正弦波の＿＿＿＿＿〔V〕付近でＳＣＲやトライアックがONになるように細工をするわけです。

0

(1)　ＳＣＲの場合　　(2)　トライアックの場合



なるほど　でも　どうすれば　いいのかな？

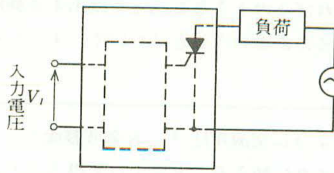
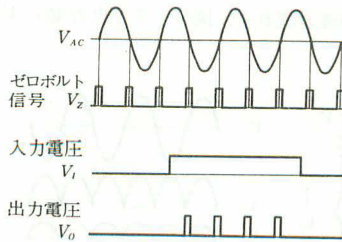
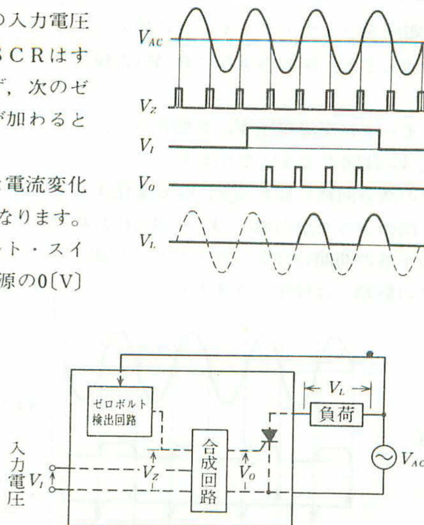
「次のフレームへ　どうぞ」

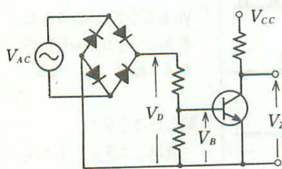
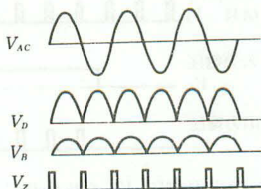
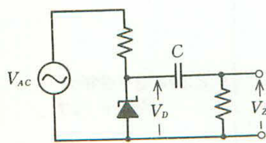
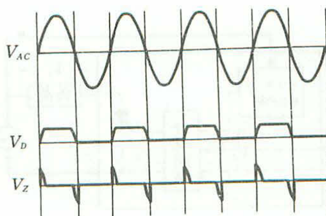
12　それでは，このようなゼロボルト・スイッチ回路を構成するにはどのようにすればよいかを学習していきましょう。

ゼロボルト・スイッチ回路を構成するにはいろいろな方法があり，また，このための集積回路も市販されていますが，ここでは基本構成とその事例について学習しておきましょう。

「ゼロボルトスイッチ回路は，よく使用されますから，基本をしっかり把握して下さいヨ」

ハーイ

13 さて，このようなゼロボルト・スイッチ回路を得る方法ですが，基本的には，さきほど学習したように入力電圧V_Iが加わってもそれを直接ＳＣＲやトライアックに加えるのではなく，次の＿＿＿＿〔V〕付近でＳＣＲやトライアックを駆動するわけです。  	「ここは もう 大丈夫ですね」 OK，OK 0
14 ゼロボルト・スイッチ動作は，一般には図のように交流電源の0〔V〕付近でだけ電圧が出るようなゼロボルト信号をつくり，さらにこのゼロボルト信号と入力電圧 V_I とが同時に加わったときにだけ出力電圧V_Oが出るような回路を構成し，この出力電圧 V_O をＳＣＲに加えるようにして得ています。  	「V_0をSCRに加えると，本当に，ゼロボルト動作をするかな」 「聞くだけでなく，確認して進んで下さい」
15 このようにするとＳＣＲをＯＮにするための入力電圧V_Iが加わっても，ＳＣＲはすぐにはＯＮにならず，次のゼロボルト信号 V_Z が加わるとＯＮになります。 したがって急激な電流変化を生じることはなくなります。 つまり，ゼロボルト・スイッチ回路は，交流電源の0〔V〕を検出するゼロボルト検出回路と，このゼロボルト信号 V_Z と入力電圧V_Iとがともに加わったときにだけ出力電圧 V_O が出る合成回路で構成されているのです。  	「ここがこの学習のポイントです」 フン フン ゼロボルトスイッチの原理と，基本構成だな

16　それでは，どのようにすればこのような0〔V〕を検出する動作や合成動作を得ることができるのかということについて，すこしみておきましょう。	
17　0〔V〕の検出は，図aのように交流電圧 V_{AC} を全波整流し，その出力 V_D を分圧してトランジスタに加えることによって得ることができます。 すなわち，このようにしておくと，交流電圧 V_{AC} が0〔V〕付近のときには V_B が0.7〔V〕以下となり，トランジスタが＿＿＿＿＿となりますから，コレクタ電流が流れず，図のような出力電圧 V_Z が出るようになります。  （図 a）  （図 b）	OFF なるほど うまく考えているなあ 「基本は トランジスタの スイッチ動作ですけどネ」
18　また，図aのように交流電圧をツェナ・ダイオードに加え，その出力を C と R の微分回路に加えても，図bのように0〔V〕の検出ができます。 図aのようにツェナ・ダイオードに交流電圧 V_{AC} を加えると，ツェナ・ダイオード両端の電圧 V_D は図のようになります。 そして，この電圧が C，R の微分回路に加わると，V_D が変化するときにだけ充放電が行われ，図のような出力電圧 V_Z が得られます。 しかし，この回路では負の半波の期間にはトリガ・パルスが出ていませんから，トライアックの駆動には使用できません。  （図 a）  （図 b）	V_Z には 正負のトリガパルスが出てるけどなあ 「でも どちらも V_{AC} の正の期間にでしょ」 ナールホド

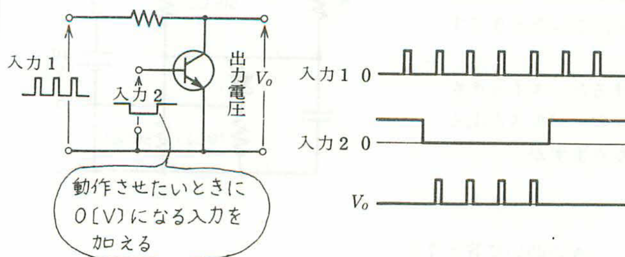
19 そして，0〔V〕の検出電圧と入力電圧とが同時に加わったときにだけ出力を出すような合成回路は，図のようにして得られます。

すなわち，図のような回路を構成し，入力1のところにはゼロボルト信号を加え，また入力2のところにはSCRをONにしたときに0〔V〕になるような電圧を加えればよいのです。

このようにすると，回路はつぎのような動作をします。

(1) 動作させたくないときには，入力2に高い電圧が加わっており，トランジスタのCE間がONとなっているため，入力1にゼロボルト信号を加えても，その電圧はSCRには加わりません。

(2) しかし，入力2の電圧が0〔V〕になると，トランジスタのCE間がOFFとなるため，ゼロボルト信号が出力側に現れるようになります。

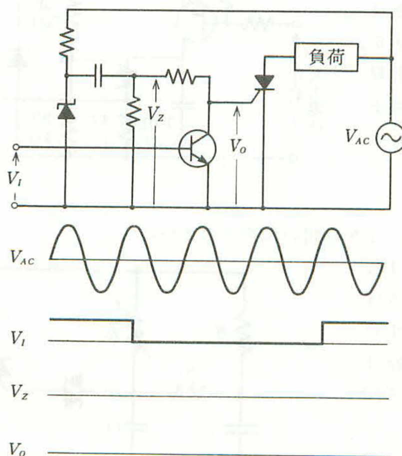


トランジスタって
いろんな応用ができるんだなあ

「応用技術は
あなたの頭しだいですョ」

20 図の回路は，18フレームと19フレームの回路を利用してSCRをゼロボルト・スイッチ動作させた回路の一例です。

図のような電圧を加えたとき，各部の電圧波形がどのようになり，ゼロボルト・スイッチ動作をするのか，しらべてみてください。

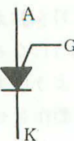


「答は14フレームの
波形図を参照して
下さい」

練習問題

1　つぎの文章の＿＿＿＿＿の中に適する言葉を入れ，文章を完成しなさい。

(1)　ＰＵＴとは＿＿＿＿＿ユニジャンクション・トランジスタの略で，図のような図記号で示される半導体素子です。



(2)　ＰＵＴでは，V_{AK} の電圧が V_{GK} よりも約 0.7〔V〕高くなったときに(ア)＿＿＿＿＿間がＯＮとなります。

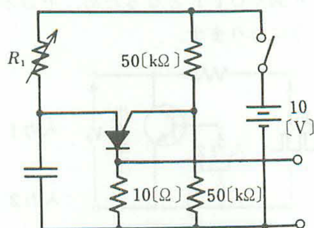
そして，一度ＯＮになったあとは，アノード電流を(イ)＿＿＿＿＿以下にすればもとのＯＦＦになります。

(3)　ダイアックでは，ダイアック両端の電圧がある値を越えるとＯＮの状態になりますが，この電圧のことを＿＿＿＿＿電圧といっています。

2　図の回路について，つぎの問いに答えなさい。

(1)　ＰＵＴがＯＮになるのは，ＡＫ間電圧がおよそ何ボルトになったときですか。

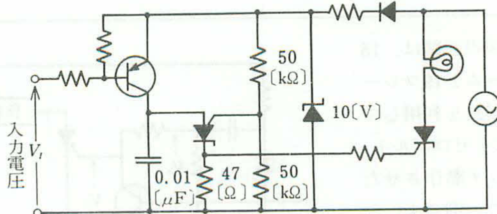
(2)　R_1 の値を小さくすると，スイッチをＯＮにしてからトリガ・パルスが出る早さはどのようになりますか。



3　図の回路について，つぎの問いに答えなさい。

(1)　入力電圧 V_i が上昇すると，コンデンサへの充電電流の大きさはどのようになりますか。

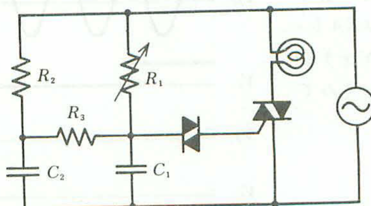
(2)　入力電圧 V_i が上昇すると，ランプの明るさはどのようになりますか。



4　図の回路について，つぎの問いに答えなさい。

(1)　R_1 の値を小さくすると，ランプの明るさはどのようになりますか。

(2)　R_2, R_3, C_2 の回路は，なんのためにつける回路ですか。



9. オペアンプと比較機能

学習の目標

1．オペアンプとはどのようなものかを学習し，その基本の応用として比較機能を学習する。

(1) オペアンプとは，どのような特性をもち，どのような働きをするものなのか。

(2) オペアンプをどのように利用すれば比較動作をさせることができるのか。

(3) オペアンプを使用するときには，どのようなことに注意する必要があるのか。

2．オペアンプを用いて比較動作をさせた基本応用事例について学習する。



学習の概要

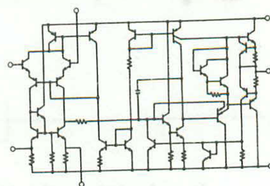
1．オペアンプ（Operational Amplifier）

(1) オペアンプとは，演算増幅器とも呼ばれている集積回路で，図aのような外観をしたものがあり，この中には図bのような回路が組まれています。



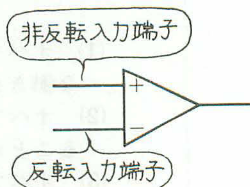


（図a）

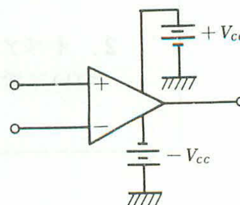


（図b）

(2) オペアンプは，つぎのように反転入力，非反転入力と呼ばれる二つの入力端子と，一つの出力端子をもつ一種の増幅器で，図のような図記号で示されます。



(3) オペアンプは図のように，正負同一の大きさをもつ二つの電源（V_{CC}）を必要とし，一般にはこの電源に±15〔V〕が使用されます。



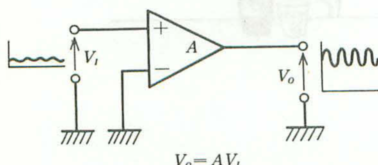
2．オペアンプの基本動作

(1) オペアンプは図aのように，非反転入力端子に電圧を加えると出力には増幅度（A）倍された同極性の出力が現れます。

また，図bのように反転入力端子に電圧を加えると，出力には増幅度（A）倍された逆極性の出力が現れます。

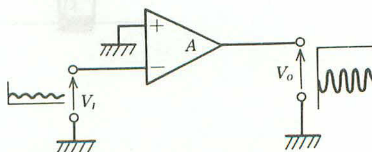
ただし，出力電圧が$+V_{CC}$以上や$-V_{CC}$以下になることはありません。

電源電圧によって出力電圧は飽和してしまいます。



$V_o = AV_i$

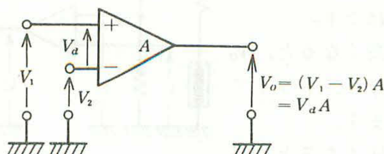
（図a）



$V_o = -AV_i$

（図b）

(2) オペアンプの二つの入力端子に図のように同時に電圧を加えた場合は，非反転入力端子に加えている電圧(V_1)から反転入力端子に加えている電圧(V_2)を引いた値(V_d)を増幅度倍した出力が得られます。



3．オペアンプの特性と応用

(1) オペアンプは一種の増幅器ですが，つぎのような特性を理想として設計された増幅器です。

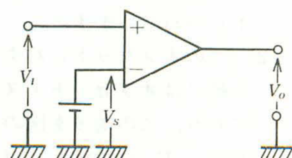
○電圧増幅度(A)＝無限大　　○増幅周波数帯域＝無限大

○入力バイアス電流(I_B)＝0　　○出力抵抗＝0

（入力抵抗＝無限大）

(2) オペアンプは増幅度が非常に高いということから，比較器として利用できます。

図の回路で $V_I = V_S$ の場合は出力が0〔V〕となりますが，すこしでも両者の間に差が生じると，出力電圧(V_O)はほぼ$+V_{CC}$か，または$-V_{CC}$となり，比較動作をするようになります。



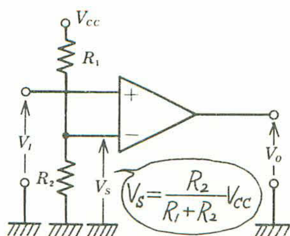
○$V_I > V_S$のとき ⇨ $V_O \fallingdotseq +V_{CC}$

○$V_I = V_S$のとき ⇨ $V_O = 0$

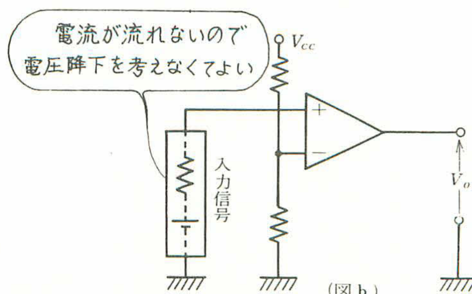
○$V_I < V_S$のとき ⇨ $V_O \fallingdotseq -V_{CC}$

(3) オペアンプは入力抵抗が非常に高く，バイアス電流がほとんど流れないということから，図aのように比較器の基準電圧を設定する場合でも，抵抗の分割比だけで簡単に求めることができます。

また，図bのように内部抵抗をもつ信号源を入力に接続する場合でも，この内部抵抗による電圧降下をあまり問題にする必要はありません。



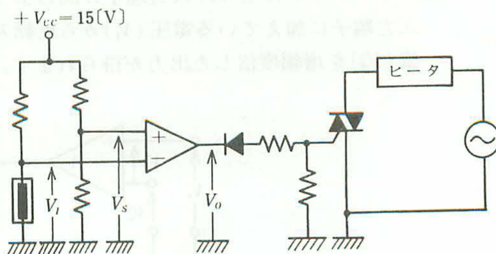
（図a）



（図b）

4．オペアンプの応用例

図の回路は，オペアンプを用いてサーミスタからの検出電圧を比較判定し，ヒータを ON-OFF 制御するための回路です。



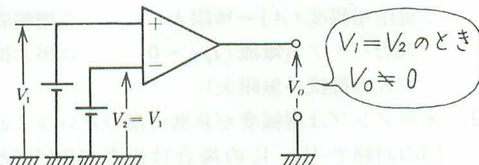
(1)　V_SよりもV_Iが高くなると，V_Oは約-15〔V〕となり，トライアックが駆動されます。

(2)　V_SよりもV_Iが低くなると，V_Oは約$+15$〔V〕となり，トライアックは駆動されなくなります。

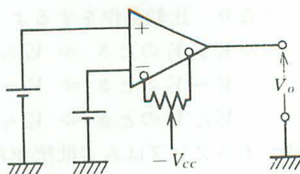
5．オペアンプ使用上の注意

(1)　実際のオペアンプでは，図のように入力電圧V_1，V_2を同じ大きさにしても出力電圧が現れるようになります。

この現象をオフセットといっています。



(2)　このオフセットに対する対策は，オペアンプの種類によっても異なりますが，一般にはオフセット・ヌルという端子がついており，この端子を図のように可変抵抗を通じて$-V_{CC}$に接続し，可変抵抗を調整することによって補正できるようにしています。



学習の展開

1　これまでの学習では，第一段階として1～5章ではトランジスタを中心にして電子制御の基本について，そして，第二段階として6～8章ではサイリスタを用いた電力制御について学習しました。

さあー
スタートだ

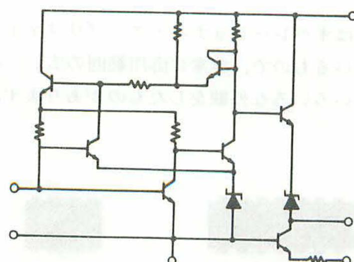
2　いよいよこの章からは，第三段階の学習として，このような制御分野で最近非常によく使われ始めている集積回路を紹介し，その応用法について学習していきましょう。





「いよいよ
第3段階ですぞ」

3　**集積回路**（Integrated Circuit）とは，一般にＩＣと略されているもので，一つの素子の中に図のように数多くのトランジスタやダイオードを組み込み，高度な機能をもたせるようにした回路のことをいいます。

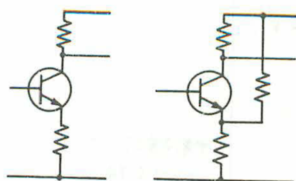


ウフェー
大変な回路だなあ

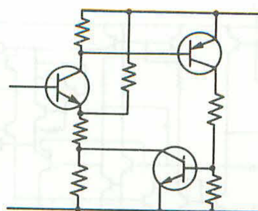
「まあーネ」

4　いままでの学習では，検出器からの信号を電圧増幅する回路や，ＯＮ－ＯＦＦ制御を行うためのシュミット・トリガ回路などをトランジスタを用いて構成していました。

ハイ　ハイ



電圧増幅回路



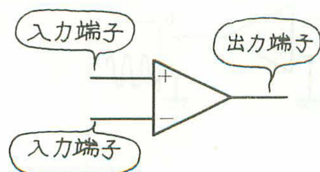
シュミット・トリガ回路

5　ところで，これらの微弱な電流を取り扱う部分には，最近では集積回路が利用されるようになってきています。 そして，トランジスタを取り扱う場合のようなめんどうさをほとんどなくし，基本のことさえ理解していればかなり自由にいろいろな機能をもった回路を簡単につくりあげることができるようになってきました。	へー　ホントですか 「ICの中身が面倒なのは使いやすくするためなんですよ」
6　この章からは，このような集積回路の活用法について学習していきましょう。 制御回路の分野で一般によく使われている集積回路には，いくつかの種類がありますが，本書ではこれらの中でとくに応用範囲が広いオペアンプと呼ばれている集積回路を代表的に取りあげ，その基本と活用法を学習していきたいと思います。	「オペアンプがわかれば その他についても，大体 わかるように なりますよ」
7　**オペアンプ** オペアンプとは，正規にはオペレーショナル・アンプリファイア（演算増幅器）と呼ばれているもので，非常に応用範囲の広い一種の増幅器で，つぎのようにいろいろな外観をしたものがあります。	むかでのように 足がでているなあ 「まあ まあ そう いわないで」
8　オペレーショナル・アンプリファイア（演算増幅器）という名称は，当初開発された目的がアナログ・コンピュータの演算回路に用いるためのものであったことから，このような名称がつけられたわけです。 図の回路は，オペアンプの内部等価回路です。 $+V_{cc}$ $-V_{cc}$	中身は考えなくていいのですか 「次のフレームへ どうぞ」

9　オペアンプの内部は非常に複雑な回路になっていますが，基本的には図のように＋およびーと表示された二つの入力端子と，一つの出力端子をもつ増幅器と考えることができます。

そして，オペアンプはつぎのような図記号で表示して取り扱っています。

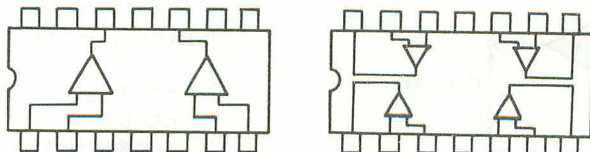
本書では，オペアンプ内部の回路動作は取りあげず，基本動作と活用面を中心に学習していきたいと思います。



ヘーッ　すごく　簡単に　なるんだなあ

「トランジスタよりも　取り扱いやすい　感じでしょ」

10　ところで，オペアンプＩＣには，一つのパッケージの中にこのオペアンプが一つだけでなく，つぎのように複数個はいったものがあります。



ウフェー　ICって　すごいなあ

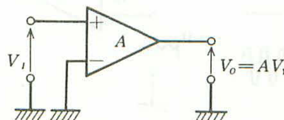
「時代の進歩を　感じるでしょ」

11　それではまず，オペアンプの二つの入力端子にどのように電圧を加えると，どのような出力が出てくるのかという，入出力の関係から学習していきましょう。

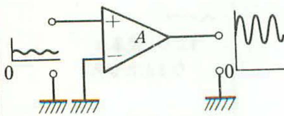
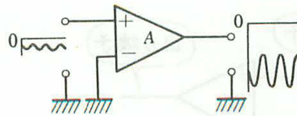
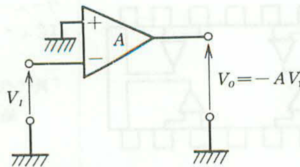
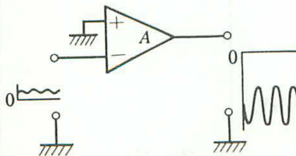
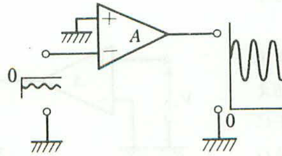
オペアンプには図のような＋，ーと表示された二つの入力端子がありますが，これら二つの入力端子の利用のしかたによって，いろいろな出力が得られます。

いま，このオペアンプの増幅度をAとすると，入力端子の使い方に応じてつぎのような出力が現れます。

図のように，プラスと表示された入力端子に電圧を加えた場合には，その出力端子にはA倍の同極性の電圧が現れます。



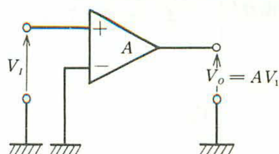
フン　フン　増幅度が A倍 だから　A·V₁ というわけか

12　つまり，図のように＋と表示された入力端子に電圧を加えると，図 a のように正の電圧を加えた場合は A 倍された正の出力電圧が出ますし，また，図 b のように負の電圧を加えた場合は，A 倍された {(ア) 正 (イ) 負} の出力電圧が出るわけです。  （図 a）  （図 b）	(イ) 負 フン フン ナルホド ナルホド
13　また，図のように－と表示された入力端子に電圧を加えた場合は，その出力端子には A 倍の逆極性の電圧が現れます。  	オヤ オヤ どっちに 入力を 加えても いいのですか 「そうですよ どちらも 入力端子なのです」
14　つまり，図のように－と表示された入力端子に電圧を加えると，図 a のように正の電圧を加えた場合は A 倍された負の出力電圧が出て，図 b のように負の電圧を加えた場合は A 倍された {(ア) 正 (イ) 負} の出力電圧が出るわけです。  （図 a）  （図 b）	(ア) 正 出力が逆転するわけだな 「そういうこと！」

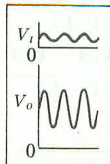
15 すなわち，プラスと表示された入力端子に電圧を加えると，その出力端子には同極性の増幅された電圧が現れ，またマイナスと表示された入力端子に電圧を加えると，その出力端子には，反転した__________極性の増幅された出力が現れるわけです。

逆

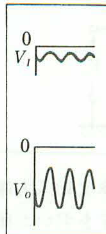
(1) プラス入力に電圧を加えた場合



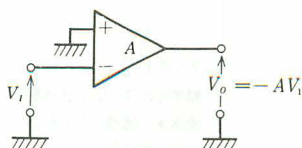
V_Iが正のとき



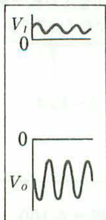
V_Iが負のとき



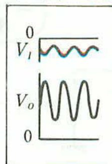
(2) マイナス入力に電圧を加えた場合



V_Iが正のとき



V_Iが負のとき

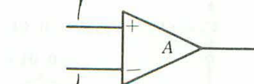


⊕入力端子は同極，
⊖入力端子は反転した
出力がでるという
わけだナ

「そういうこと」

16 このようなことから，プラスと表示された入力端子を，出力が反転しない入力端子ということで**非反転入力端子**といい，マイナスと表示された入力端子を，出力が反転する入力端子という意味で**反転入力端子**といっています。

非反転入力端子

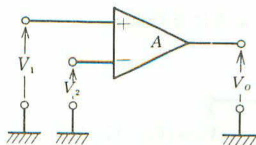


反転入力端子

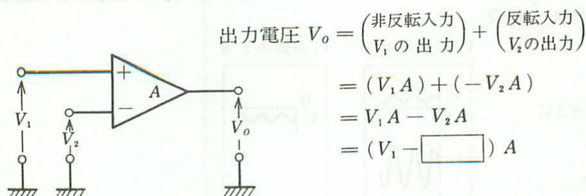
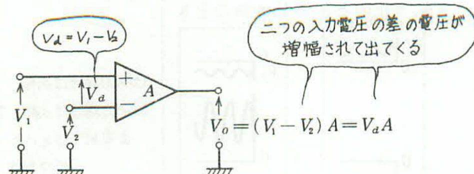
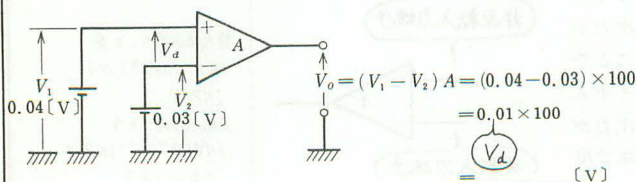
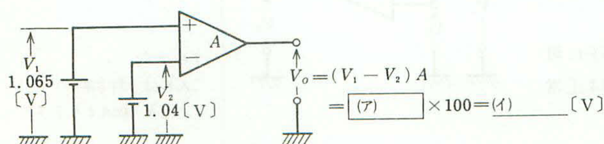
非反転入力のことを
NON INVERTING
INPUT，
反転入力のことを
INVERTING INPUT
ともいいます.

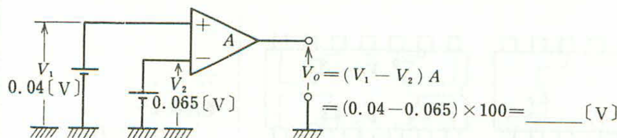
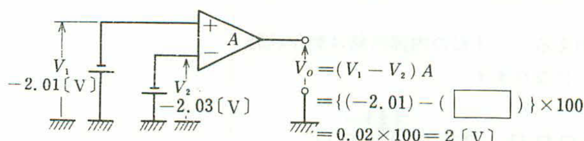
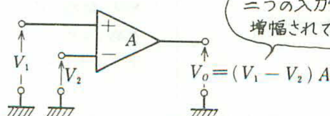
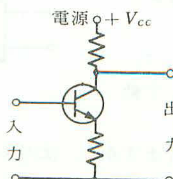
17 それでは，図のように非反転入力端子にも反転入力端子にも電圧を加えた場合はどのようになるでしょうか。

このように二つの入力端子に電圧を加えても，オペアンプは正常に動作します。



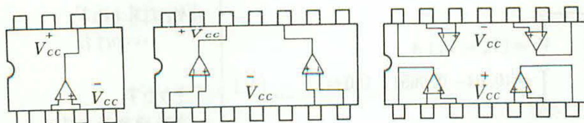
ナニッ!
こんどは 両方共に
入力を 加えるんですか.

18 このように非反転入力端子と反転入力端子の両方に電圧を加えた場合は，その出力電圧には，それぞれの入力電圧が増幅され，合成された値となって現れてきます。 すなわち，図の回路の場合，入力電圧 V_1，V_2 に対して，出力電圧 V_o はつぎのようになります。  出力電圧 $V_o = \begin{pmatrix}\text{非反転入力}\\ V_1\text{の出力}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{反転入力}\\ V_2\text{の出力}\end{pmatrix}$ $= (V_1A) + (-V_2A)$ $= V_1A - V_2A$ $= (V_1 - \square)A$	「V_0 の式の意味をよーく考えて」 V_2
19 つまり，オペアンプは非反転入力端子に加えた入力電圧から反転入力端子に加えた入力電圧を引いた値（差の電圧 V_d）を増幅する働きをすることになります。  	ナルホド 結果的には，V_1 と V_2 の差の電圧を，増幅していることになるわけだ
20 したがって，たとえばオペアンプの増幅度を100とすると，図のような入力電圧を加えた場合の出力電圧はつぎのようになります。  $V_o = (V_1 - V_2)A = (0.04 - 0.03) \times 100$ $= 0.01 \times 100$ （V_d） $=$ ________〔V〕	1 ナルホド ナルホド
21 また，同じオペアンプ（$A = 100$）で入力電圧をつぎのように変えた場合の出力電圧はつぎのようになります。  $V_o = (V_1 - V_2)A$ $=$ (ア)____ $\times 100 =$ (イ)____〔V〕	(ア) 0.025 (イ) 2.5 ポイントは入力電圧の差だな 「そういうこと」

22 さらに，図のようにプラス側の入力電圧がマイナス側の電圧より低い場合でも，まったく同じようにして出力電圧を計算できます。 たとえば，図のように非反転入力端子に0.04〔V〕，反転入力端子に0.065〔V〕を加えたときの出力は，つぎのようになります。  	−2.5 忠実に計算すれば いいわけだ 「そうです 演算増幅器です」
23 また，図のように負の入力電圧を加えている場合も同じです。  	−2.03 フン フン
24 すなわち，オペアンプの二つの入力端子にそれぞれの電圧を加えた場合には，その出力端子には，それぞれの入力端子の差の電圧が増幅されて現れることになります。 このような二つの入力端子間の差の成分を増幅するような増幅器を**差動増幅器**といっていますが，オペアンプは基本的にはこのような差動増幅器で構成されているのです（トランジスタを用いた具体的な差動増幅器の回路については，「**電子回路編Ⅱ**」で扱っていますので参照してください)。  	ウーン これは いろんな使い方がありそうだぞ 「大いに 活用して下さいヨ」 ハーイ
25 オペアンプの基本動作は理解できましたか。 ところで，トランジスタ回路の場合にも，トランジスタ回路を動作させるためには電源電圧を必要としました。 これはオペアンプの場合でもまったく同じことで，オペアンプを動作させるためには電源を必要とします。  	「ICといっても 中身はトランジスタですからネェー」

26　ただし，オペアンプでは，一般のトランジスタ増幅器とちがって，プラスとマイナスの同一の電源が必要となります。

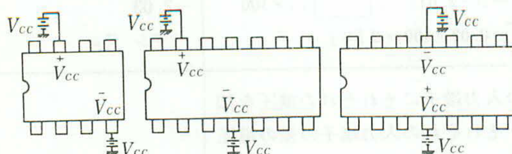
これらの電源を接続する端子は，オペアンプのカタログに必ず明記されています。



フン　フン
電源が2つ
いるわけですね.

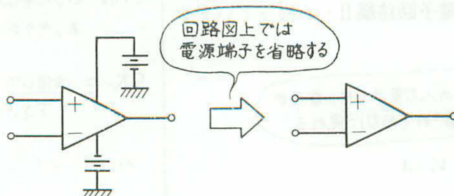
27　すなわち，オペアンプを動作させるためには，これらの端子に図のように同一の大きさをもつプラスとマイナスの電圧を加える必要があります。

このようにして電源電圧を加えると，ＩＣの内部回路は動作状態となり，増幅動作を始めるようになります。



28　このことを回路図上で示す場合には図のように表示しています。

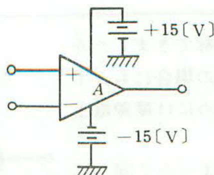
しかし，ＩＣに電源が必要なことは当然のことですから，通常，回路図上では省略しています。



「実際の配線では
省略しちゃ
ダメですぞ」

29　ところで，この電源電圧はいくらでもいいというわけではありません。

一般のオペアンプの場合には，この電源電圧を±15〔V〕にして動作させるようにしています。



この上限値には制限がありますから，使用するオペアンプのカタログを参照して，まちがいのないようにしてください。

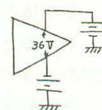
OK!

30 つぎの表は一般によく使われているμA741というオペアンプの電源電圧の最大定格値です。

この最大定格値は，オペアンプの二つの電源端子間に加わる電圧$\{(+V_{cc})-(-V_{cc})\}$で示していますから，実質的には±18〔V〕以上を加えてはいけないということになります。

μA741（最大定格）

電源電圧	36〔V〕

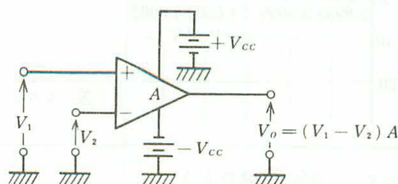


ということですね

「そう いう こと」

31 オペアンプは基本的には差動増幅器で構成されており，図のように等しい大きさの電源電圧$+V_{cc}$と$-V_{cc}$とを加えておいて，二つの入力端子に電圧を加えると，その差の成分が増幅されて出力に現れることになります。

このことは，もうじゅうぶんに理解できましたね。



OK，OK，
V_1-V_2を
増幅するわけでしょ

「そう いう こと」

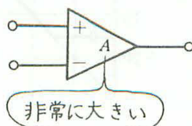
32 さて，オペアンプは単にこのように差の成分を増幅するというだけではありません。

二つの入力の差の成分を増幅するという基本的な働きは変わりませんが，広い範囲に応用しやすいように，いろいろな特徴をもっています。

ホー
どんなことかな

「次のフレームへ
どうぞ」

33 オペアンプの特徴



まず，オペアンプの第一の特徴は，増幅度（A）が非常に大きいということです。

理想的には無限大という特性が望ましいわけですが，μA741を例にとると，つぎの表のように代表値で____________の増幅度をもっています。

μA741の増幅度	min.	typ.	max.
	25,000	200,000	——

200,000

ウェー
スゴーく
大きいなあ

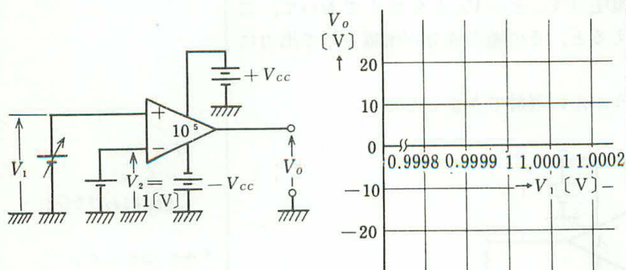
34 さて，さきほど考えた差動増幅器がこのように非常に大きな増幅度をもっているとすると，その動作はどのようになるでしょうか。

いま，図のように反転入力端子には $V_2=1$〔V〕の一定電圧を加えておいて，非反転入力端子の電圧 V_1 を変化させた場合，オペアンプの増幅度を 10^5 としたときに出力電圧 V_o がどのようになるかを求め，グラフに示してみてください。

$V_1=0.9999$〔V〕のとき ⇨ $V_o=$(ア)__________〔V〕

$V_1=1.0000$〔V〕のとき ⇨ $V_o=$(イ)__________〔V〕

$V_1=1.0001$〔V〕のとき ⇨ $V_o=$(ウ)__________〔V〕



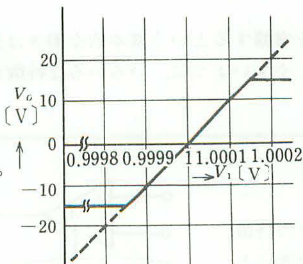
(ア) −10
(イ) 0
(ウ) +10

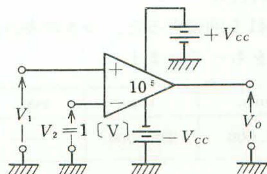
「答は次のフレーム」

35 単に入力電圧を 10^5 倍した出力を示すと，図の破線のようになりますが，実際には正の電源電圧以上や，負の電源電圧以下の出力は出ませんから，出力は $+V_{cc}$ と $-V_{cc}$ の値で飽和してしまいます。

すなわち，電源に±15〔V〕を使用しているときは図のようになり，二つの入力端子間にわずか0.15〔mV〕程度の電位差ができると，出力はもう飽和して +15〔V〕か −15〔V〕になってしまうわけです。

（実際には出力が飽和したときの出力電圧は $+V_{cc}$ や $-V_{cc}$ よりもすこし小さくなりますが，本書では理解しやすくするために $+V_{cc}$ や $-V_{cc}$ が出るとして取り扱っていきます。）



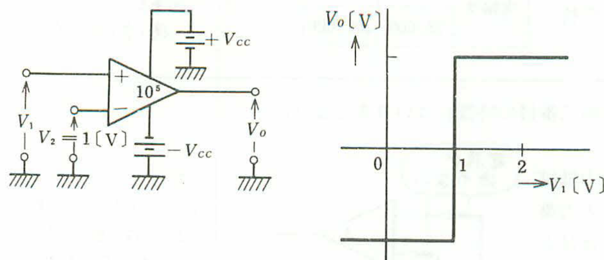


フーン
わずか 0.15〔mV〕の差だけで
出力は 飽和してしまうのか

「増幅度が
スゴイからネエー」

36 このことからわかるように，オペアンプの二つの入力端子に電圧を加えた場合，その差が完全に0〔V〕であれば出力は0〔V〕となっていますが，すこしでも電位差（$V_d=\pm 0.15$〔mV〕程度以上）があると，出力は$+V_{CC}$か$-V_{CC}$かのどちらかに__________することになります。

いままでのグラフは横軸を拡大していましたが，この特性を拡大せずに示すと図のようになります。



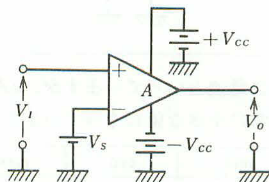
飽和

するど，0.15〔mV〕以上は加えられないということかナ

「この特性をうまーく活用するんだョ」

---

37 では，図のようにオペアンプの入力の一方に基準電圧V_Sを与え，他方に入力電圧V_Iを加えるとどうでしょうか。



0.15〔mV〕以上の差があると，ダメなわけでしょ

「次のフレームへどうぞ」

---

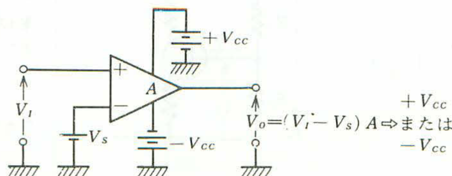
38 図のようにオペアンプの入力端子の一方に基準電圧V_Sを加えておくと，入力電圧V_Iが基準電圧V_Sに対してすこしでも大きければ(ア)__________を出力しますし，すこしでも小さければ(イ)__________を出力するというようになります。

すなわち，このような回路の動作は，基準電圧に対して入力の電圧が大きいか小さいかを判定しているというように考えることもできます。

つまり，オペアンプは比較器としての働きをしていることになります。

∘$V_I>V_S$のときは
$V_O=+V_{CC}$

∘$V_I<V_S$のときは
$V_O=-V_{CC}$



(ア)　$+V_{CC}$
(イ)　$-V_{CC}$

ナルホドなあー

発想の転換だな

「おもしろいでしょう」

39　オペアンプは，その名のとおり「増幅器」としてそのまま活用できそうな気がしますが，実際にはオペアンプ単体では増幅度が高すぎて回路が不安定になったり，バラついたりして使用できません。

つぎの値はμA741の増幅度ですが，typ.で200,000，min.で25,000というように10倍程度のバラツキがあります。

したがって，オペアンプ単体の用途としては，一般に，いま述べたように比較回路として利用されているのです。

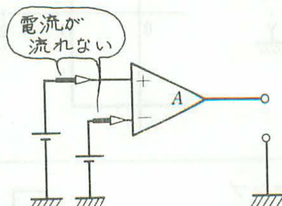
μA741

	min.	typ.	max.
増幅度	25,000	200,000	——

「何事も使い方ですヨ！」

40　それでは，オペアンプの二番目の特徴にはいりましょう。

それは，オペアンプは入力抵抗が非常に高く，図のように入力電圧を加えてもオペアンプにはほとんど電流が流れないということです。



フーン
トランジスタのベース電流のようには，電流が流れないということですか

「そうですよ」

41　この電流を入力バイアス電流といっていますが，μA741の場合をみても，つぎのように非常に小さな値になっています。

	min.	typ.	max.
μA741の入力バイアス電流	——	80〔nA〕	500〔nA〕

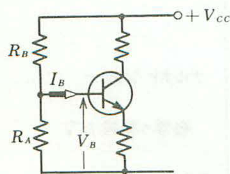
「〔nA〕とはナノアンペアと呼び $\frac{1}{10^9}$〔A〕のことです」

ウフェー

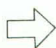
42　トランジスタの場合には，図aのようにV_{CC}を抵抗R_A，R_Bで分圧してV_Bをつくるときにも，ベース電流I_Bを考慮に入れて取り扱わなければなりませんでした。

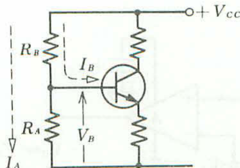
すなわち，V_Bの値をトランジスタに無関係に設定するためには，図bのようにI_Bに対してI_Aの値をじゅうぶん{(ア)　大きく / (イ)　小さく}とる必要がありました。

(ア)　大きく



（図 a）



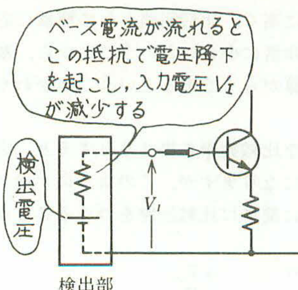


（図 b）

フン フン
I_Bによって，R_AやR_Bの電圧降下に変化を与えないようにするためだったですね。

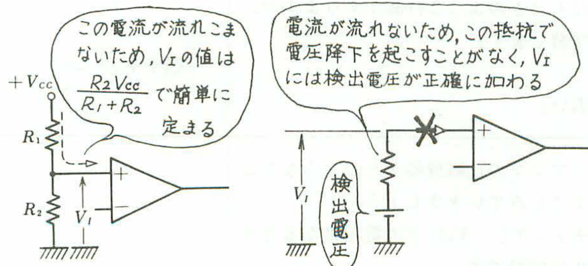
「そういうこと」

43 また，トランジスタに検出器からの信号を加える場合も，検出器の内部抵抗によって電圧降下が発生し，検出電圧が増幅器の入力に正確に加わらなくなる場合があります。



44 しかし，オペアンプの場合には入力抵抗が非常に高く，オペアンプに流れこむ電流がほとんど0という小さな値です。

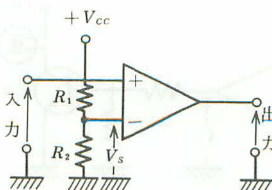
したがって，バイアス電流による問題点をほとんど考慮する必要がないわけです。



なるほどナアー
こりゃ 便利だぞ

「どうです
使いやすいでしョ」

45 たとえば，比較動作をさせる場合に，図のように基準電圧 V_s を抵抗分割で得るときにも，抵抗比だけを考えればよいのですから，非常に簡単になります。



「基準電圧の値は
どうなるかな」

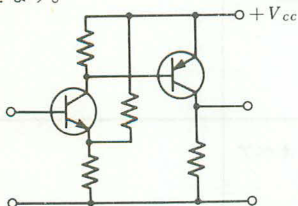
簡単，簡単，

$V_S = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{cc}$

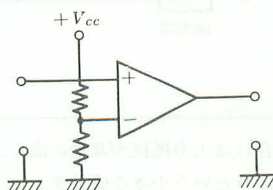
でしょ

46　オペアンプの増幅度が非常に高く，比較回路として簡単に応用できることや，バイアス電流が非常に小さいということから，基準電圧を定める場合などの回路計算がらくであるということがわかったと思います。

トランジスタ回路でこのような比較動作を得ようとすると，図aのようにかなりめんどうなことになりますが，このようにオペアンプを用いると図bのように非常に簡単に比較回路をつくることができます。



(図 a)



(図 b)

ウーン
これは 便利だナアー

「これからは
大いに 活用して
下さいヨ」

47　オペアンプの特徴と，その特徴を利用した比較機能への応用については，理解できましたか。

オペアンプには，このほかにもつぎのような特徴がありますが，これらについてはまた次章で学習します。

○出力抵抗が非常に小さい

○増幅周波数帯域が非常に広い。

「次章を おたのしみに
ネ!」

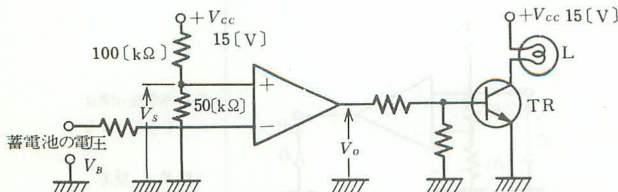
48　さて，ではこのようなオペアンプの比較機能がどのようなところで応用されているのかを，すこしみていきましょう。

図の回路は蓄電池の電圧をチェックし，V_s以下の電圧になるとランプを点灯して表示させるための回路です。

この回路ではV_sが(ア)＿＿＿＿〔V〕となりますから，蓄電池の電圧によってつぎのようになります。

(ア)　5

フン フン
バッテリーチェッカー
だな



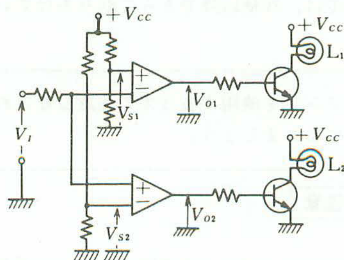
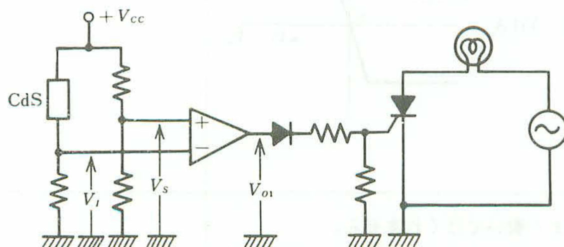
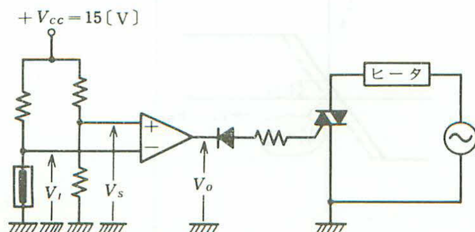
(1)　$V_B<5$〔V〕のとき⇨$V_o≒+15$〔V〕⇨TR「ON」⇨L点灯

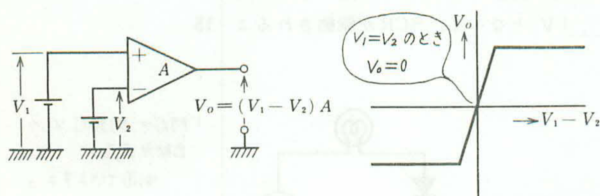
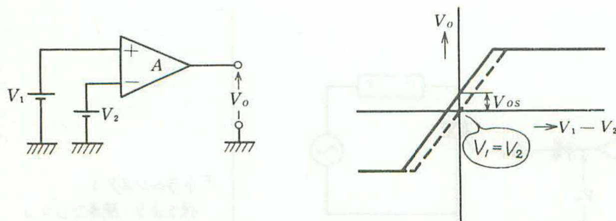
(2)　$V_B>5$〔V〕のとき⇨$V_o≒$(イ)＿＿＿〔V〕⇨TR(ウ)＿＿＿⇨L(エ)＿＿＿

(イ)　−15

(ウ)　OFF

(エ)　消灯

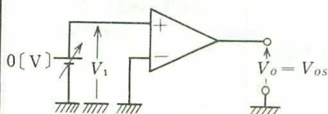
49　また，図の回路はオペアンプを二つ用いて，入力電圧がある範囲の電圧以上や以下になったときにそれを表示させる回路です。 (1)　入力電圧 V_I が V_{S1} 以下になると，V_{O1} が(ア)＿＿＿＿＿になって L_1 が点灯します。 (2)　入力電圧 V_I が V_{S2} 以上になると，V_{O2} が(イ)＿＿＿＿＿になって L_2 が(ウ)＿＿＿＿＿します。  	(ア)　$+V_{CC}$ (イ)　$+V_{CC}$ (ウ)　点灯
50　つぎの回路は，CdS を用いて光の強さを検出し，その検出電圧が基準電圧（V_S）以下になると SCR を駆動してランプを点灯させようとする回路です。 この回路では，暗くなって検出電圧 V_I が V_S よりも低くなれば出力電圧（V_{O1}）が＿＿＿＿＿〔V〕となって，SCR が駆動されるようになります。  	15 「門灯や街路灯などの自動点滅器に利用できますネ」
51　また，図の回路は温度を検出し，その検出電圧が設定値以上のときはトライアックを駆動してヒータを働かせようとする回路です。 図の回路では，温度が {(ア) 上昇　(イ) 低下} するとトライアックが駆動されます。  	(イ)　低下 「トランジスタを使うより簡単でしョ」

52　ところで，いままでの学習ではオペアンプの比較動作を中心に学習してきましたが，この回路をすこしくふうすると，ほかにもいろいろな応用機能をもたせることができます。 　このような活用法については，10章以降でさらに取りあげていきたいと思います。	これは 楽しみだナアー
53　それでは最後に，オペアンプを使用するうえで注意しなければならない点について学習しておきましょう。	
54　**オペアンプ使用上の注意** 　いままでは，図のようにオペアンプの入力電圧に差がない場合は，出力電圧が＿＿＿＿＿〔V〕となり，入力電圧に差がでてくると，その差が A 倍され，出力電圧が正や負の方向に増加していくとして学習してきました。 	0 そうじゃ ないのですか 「まあーネ」
55　しかし，実際にはそううまく働いてはくれません。 　オペアンプも半導体ですから，バラツキや温度に対する弱点はやはりあるわけです。 　実際には，入出力特性が図の実線のように原点からすこしズレており，入力電圧に差がない状態（$V_1 = V_2$）でも出力に V_{os}〔V〕の出力電圧を出す場合があります。 	

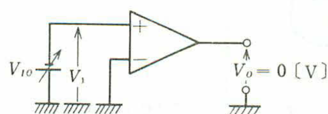
56　すなわち，図のように一方の入力を接地して，V_1の電圧を正負に変化させたとき，$V_1=0$としても出力電圧としてV_{OS}〔V〕が現れるわけです。

そして，図 c のように$V_1=0$でなく，$V_1=$＿＿＿＿＿のときに出力電圧が 0〔V〕になるわけです。

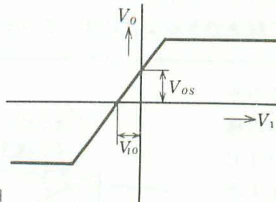
$-V_{IO}$



(図 a)



(図 b)



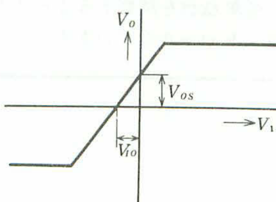
(図 c)

ナールホド

こうなると
面倒だなあ

57　このように出力電圧が 0〔V〕となる入力電圧の位置が原点からズレている現象を**オフセット**といい，また，この入力電圧のズレV_{IO}の値を**入力オフセット電圧**といっています。

そして，この入力オフセット電圧が温度などの周囲の条件で変化する現象を一般に**ドリフト**と呼んでいます。



温度によっても
影響を受けるわけですか

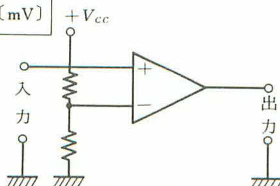
「なにぶん 温度に弱い
半導体 ですからね」

58　つぎの表は，μA741の入力オフセット電圧の値です。

図のようにオペアンプに比較動作をさせている場合は，この値が直接，誤差となって現れてきます。

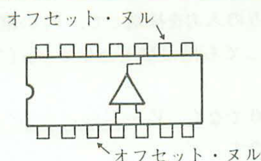
μA741

	min.	typ.	max.
入力オフセット電圧	——	1.0〔mV〕	6.0〔mV〕



フン フン
原点が ズレてるん
だからなあー

59 オペアンプを用いる場合，この入力オフセット電圧による誤差が機能上問題なければいいわけですが，この値が無視できないほどの精度が要求されるときには，対策を考えなければなりません。

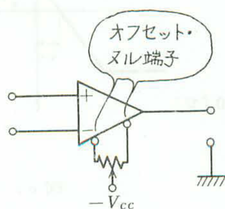


一般にオペアンプには，図のようにオフセット・ヌルという端子がついており，これを用いて解決できるようになっています。

「(NULL)とは ゼロ という意味です」

なるほど オフセット電圧を 0にする端子という ことだな

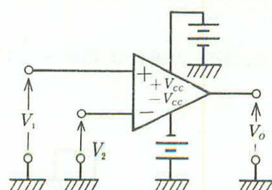
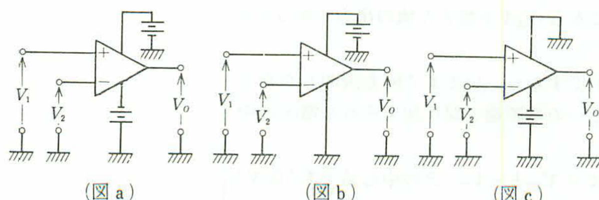
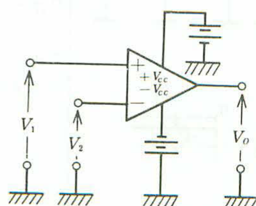
60 これらの端子をどうするのかということについては，ICの種類によって異なるため通常はICのカタログに明記されていますが，一般的な取り扱いを示しておけば，図のようにオフセット・ヌルという二つの端子のところに可変抵抗を接続し，その中間端子を $-V_{cc}$ に接続して，入力電圧が0のときに出力電圧が0になるように可変抵抗を調整することによってオフセット電圧が0になるようコントロールしています。



「オフセットが気になるときは，利用して下さい」

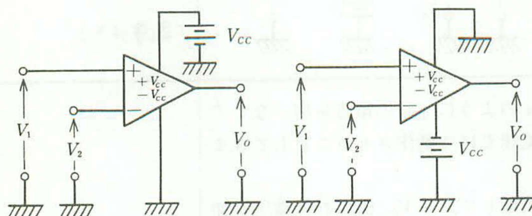
「どうも ご苦労さんでした」

進んだ学習：オペアンプの単電源動作

1　いままでの学習では，オペアンプを動作させるためには図のように正負同一の大きさをもつ二つの電源が必要だとして学習してきました。  	ハイ　ハイ ±15〔V〕でしよ 「通常はネ」
2　ところで，オペアンプは図 a のように二つの電源を用いなくても，図 b や図 c のように一つの電源だけで動作させることもできます。 図 b は $-V_{cc}$ を加える端子を接地して，$+V_{cc}$ 側にだけ電圧を加えています。 また，図 c は $+V_{cc}$ を加える端子を接地して，$-V_{cc}$ 側にだけ電圧を加えています。  （図 a）　（図 b）　（図 c）	ホー 一つの電源だけで働かせることもできるんですか これは便利だなあ 「少し無理があるけど使い方によってはネ」
3　このように一つの電源だけで動作させることを**単電源動作**をさせるといっていますが，このようにすると，つぎのような動作をするようになります。 図のように $+V_{cc}$ と $-V_{cc}$ の二つの電源を接続している場合には，二つの入力端子間の差の電圧 $(V_d = V_1 - V_2)$ を 0〔V〕にすると出力電圧も＿＿＿＿＿〔V〕になりました。  	0 フン　フン

4　ところで，図のように一つの電源だけで動作させた場合の出力電圧は，二つの入力端子間の差の電圧 V_d が0〔V〕のときには，加えた電源電圧の1/2になります。

図 a の場合は $V_o=\frac{1}{2}V_{CC}$ となり，図 b の場合は $V_o=-\frac{1}{2}V_{CC}$ となります。



（図 a）　　（図 b）

Vdが0(V)のときには電源電圧が二等分されてでてくるわけかな

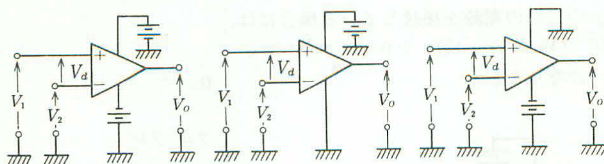
「実際には オペアンプの増幅度が非常に大きく，オフセットもありますから，このような現象をみることは，困難だけどネ」

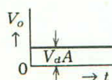
5　そして，図 a の場合は V_d の値が0〔V〕でなくなると，この V_d を A 倍した出力電圧が出てきました。

しかし，図 b や図 c の場合は，図のように $V_d=0$〔V〕のときの出力電圧を中心にして，そこから V_dA を加えた値の出力が出るようになるわけです。

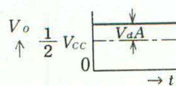
このような使い方は変則的ですから，いままで何も説明しなかったのですが，オペアンプは二つの電源端子間に加えられた電圧の中心値で動作するわけです。

したがって，図 a の場合は $+V_{CC}$ と $-V_{CC}$ との中心値である0〔V〕で動作し，図 b や図 c の場合は $+V_{CC}$ か $-V_{CC}$ だけを加えているので，それぞれの電源電圧の中心値である $\frac{1}{2}V_{CC}$，または $-\frac{1}{2}V_{CC}$ を中心として動作するわけです。

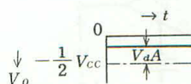




（図 a）



（図 b）



（図 c）

ナールホド オペアンプは 中間守備？

「ホー うまくいいますネ」

「そして，ボール(入力)がくると，その位置から動くわけだ……」

6　しかし，いままでに学習した比較回路としてはじゅうぶん実用的なものとなります。

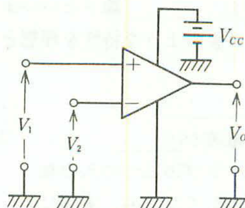
図のように単電源動作をさせて，二つの入力端子に電圧 V_1，V_2 を加えると，これらの大小によってつぎのように $+V_{CC}$ や0〔V〕の出力を出すようになります。

(1)　$+V_{CC}$ だけで動作させた場合

$V_1=V_2$ のとき ⇨ $V_O=\dfrac{1}{2}V_{CC}$

$V_1>V_2$ のとき ⇨ $V_O=+V_{CC}$

$V_1<V_2$ のとき ⇨ $V_O=$ (ア)＿＿＿＿



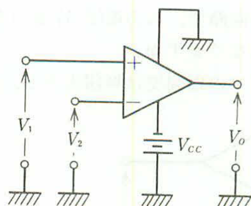
(ア)　0〔V〕

(2)　$-V_{CC}$ だけで動作させた場合

$V_1=V_2$ のとき ⇨ $V_O=\dfrac{1}{2}V_{CC}$

$V_1>V_2$ のとき ⇨ $V_O=$ (イ)＿＿＿＿

$V_1<V_2$ のとき ⇨ $V_O=$ (ウ)＿＿＿＿



(イ)　0〔V〕

(ウ)　$-V_{CC}$

フン フン
なるほど

7　また，このように単電源動作をさせた場合には，入力電圧 V_I もつぎの範囲内にする必要があります。

○ $+V_{CC}$ だけの場合……0〔V〕$<V_I<V_{CC}$

○ $-V_{CC}$ だけの場合……0〔V〕$>V_I>-V_{CC}$

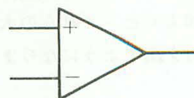
入力電圧を電源電圧範囲内にする必要があるってことですね.

「そう いう こと」

練習問題

1　つぎの文章の＿＿＿＿＿の中に適する言葉を入れ，文章を完成しなさい。

(1)　図はオペアンプの図記号を示していますが，ここで−と表示されている端子を(ア)＿＿＿＿＿端子といい，＋と表示されている端子を(イ)＿＿＿＿＿端子といいます。



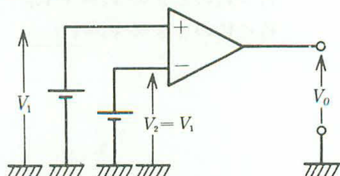
(2)　オペアンプは，つぎのような特性を理想とした一種の増幅器です。

○増幅度が(ア)＿＿＿＿＿。　○増幅周波数帯域が無限大

○入力バイアス電流が(イ)＿＿＿＿＿。　○出力抵抗が0

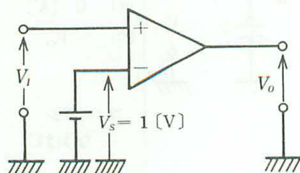
(3)　図のようにオペアンプの二つの入力端子に加わる電圧を等しくしても，実際には出力電圧が現れます。

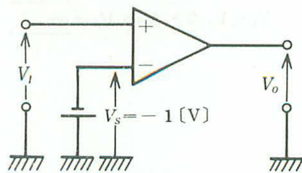
この現象を＿＿＿＿＿といっています。



2　つぎのそれぞれの回路で，入力電圧 V_I をつぎのようにしたとき，出力電圧 V_o はおよそどのような値になりますか。

ただし，オペアンプの増幅度は無限大とし，電源電圧は±15〔V〕を使用しています。





$V_I < 1$〔V〕のとき V_o＝(ア)＿＿＿＿〔V〕　　$V_I > -1$〔V〕のとき V_o＝(ウ)＿＿＿＿〔V〕

$V_I > 1$〔V〕のとき V_o＝(イ)＿＿＿＿〔V〕　　$V_I < -1$〔V〕のとき V_o＝(エ)＿＿＿＿〔V〕

3　図の回路は，サーミスタからの検出電圧をオペアンプで判定し，ヒータをON-OFF制御しようとしている回路です。

つぎの問いに答えなさい。

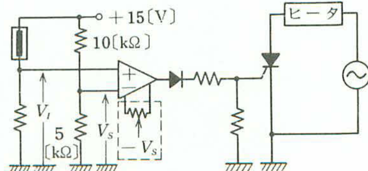
(1)　破線で囲んだ部分は何をするための回路ですか。

(2)　V_S の値はいくらになりますか。

(3)　V_I がつぎのようになったとき，ヒータはどのようになりますか。

$V_S > V_I$ のとき ⇨ ヒータは(ア)＿＿＿＿

$V_S < V_I$ のとき ⇨ ヒータは(イ)＿＿＿＿



10. オペアンプの活用法(I)

学習の目標

1．オペアンプに帰還をかけたときの回路動作について学習する。

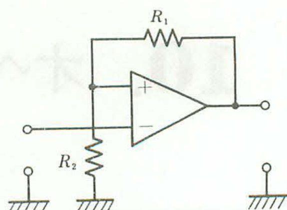
(1) 帰還のかけ方には，どのような種類があるのか。
(2) 正帰還や負帰還をかけると，回路動作はどのようになるのか。
(3) 正帰還動作や負帰還動作をどのようなところに応用できるのか。

2．オペアンプに帰還をかけたときの動作の応用として，シュミット・トリガ回路や，増幅回路について学習する。



学習の概要

1．オペアンプの帰還動作

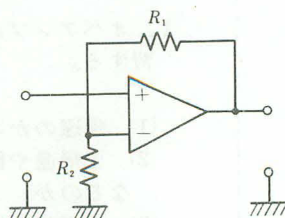


（図 a）

(1) 図 a や図 b のように，出力電圧の一部を入力側にもどすことを帰還をかけるといい，この帰還のかけ方には正帰還と負帰還とがあります。

(2) 正帰還とは実質的に増幅度が増加するような帰還のかけ方をいい，負帰還とは実質的に増幅度が低下するような帰還のかけ方をいいます。

(3) 図のような回路の場合には，図 a のように出力電圧の一部を非反転入力端子にもどすと正帰還がかかり，図 b のように出力電圧の一部を反転入力端子にもどすと負帰還がかかります。



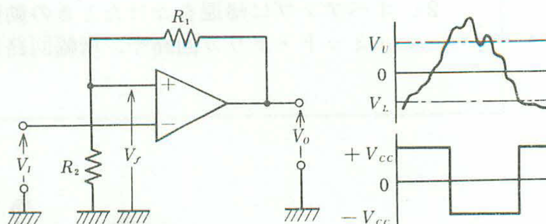
（図 b）

2．正帰還動作とシュミット・トリガ回路

(1) 図 a のようにオペアンプに正帰還をかけて回路全体の増幅度を増加していくと，図 b のようなシュミット・トリガ動作をするようになります。

(2) 入力電圧 V_I が V_U の値よりも高くなれば，出力電圧 V_O はほぼ $-V_{CC}$ となります。

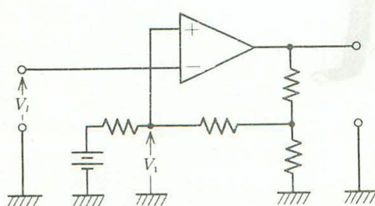
(3) 入力電圧 V_I が V_L の値よりも低くなれば，出力電圧 V_O はほぼ $+V_{CC}$ となります。



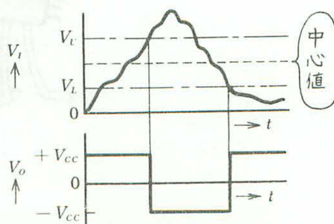
（図 a）　（図 b）

(4) R_1 や R_2 の値を変えて V_f の値を変化させることによって，V_U と V_L の幅を変えることができます。

(5) 図 c のように非反転入力端子に外部からも電圧を加え，V_1 を変化させることによって，図 d のように V_U と V_L の中心値を自由に設定できるようになります。



（図 c）



（図 d）

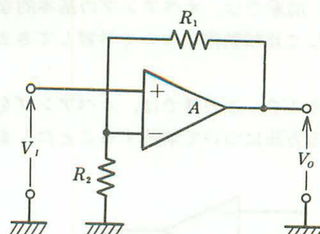
3．負帰還動作と増幅回路

(1) オペアンプに負帰還をかけると，回路全体の増幅度は低下します。

しかし，その代わりに正確な増幅度が得られるようになります。

(2) 図の回路全体の増幅度 A_f は，つぎのように外付けされた抵抗の値によって定まります。

$$A_f = \frac{V_O}{V_I} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$



4．負帰還動作とバッファ回路

(1) オペアンプに負帰還をかけると，正確な増幅度が得られるだけでなく，つぎのような特徴も現れます。

○出力抵抗が小さくなる。

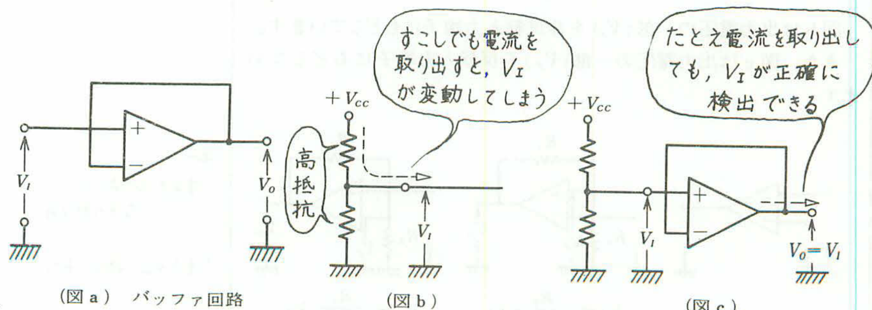
○増幅周波数帯域が広くなる。

(2) これらの特徴は，負帰還量を増加すればするほど顕著になり，図 a のように R_1 を 0，R_2 を無限大にした状態が最大になります。

しかし，このようにすると電圧増幅度は 1 になってしまいます。

このような回路をバッファ回路といっています。

(3) バッファ回路は図 b のように検出部の抵抗が非常に高く，すこしでも電流を取り出すと検出電圧 (V_I) に影響を及ぼすといった場合に，正確に電圧を検出するための回路として図 c のようにして用いられています。

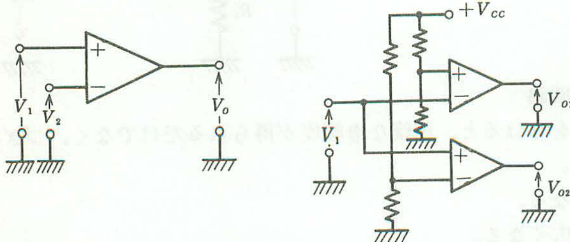


（図 a） バッファ回路　　（図 b）　　（図 c）

学習の展開

1　前章では，オペアンプの基本的な動作と，その代表的な活用法として比較動作について学習してきました。

そこで，この章では，オペアンプをさらにいろいろな用途に活用する方法について学習することにしましょう。



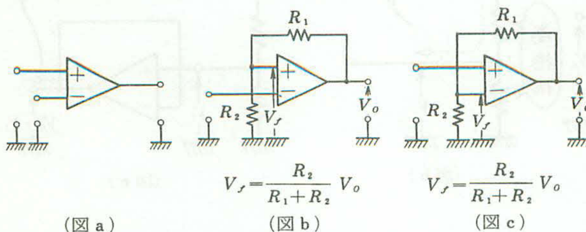
「さあ　いよいよ
オペアンプ本来の
活用法に入って
いきますよ　」

OK！

2　オプアンプは利用のしかたによって，いろいろな働きをさせることができます。

その利用のしかたを大きく分類すると，前章で学習した図aのように，二つの入力端子のそれぞれに電圧を加えて，オペアンプ単体の特性をそのまま活用する場合と，図b，図cのように出力電圧の一部を入力側にもどして利用する場合とがあります。

図bは出力電圧の一部（V_f）を非反転入力端子にもどしています。
また，図cは出力電圧の一部（V_f）を反転入力端子にもどしています。



$$V_f=\frac{R_2}{R_1+R_2}V_o \qquad V_f=\frac{R_2}{R_1+R_2}V_o$$

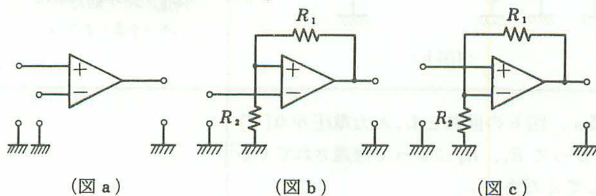
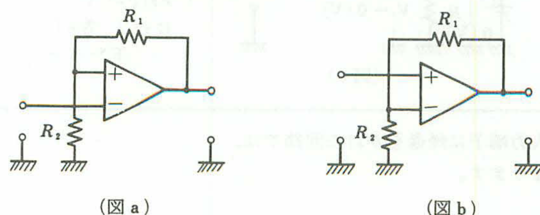
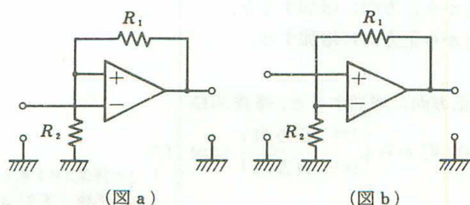
（図a）　（図b）　（図c）

ホー
すると どのように
なるのかなあ

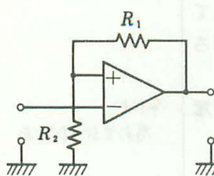
「もう少し　待って下さい」

3　このように出力電圧の一部を入力側にもどすことを帰還をかけるといっていますが，帰還をかけると，回路全体はすこし変わった特性をもつようになります。

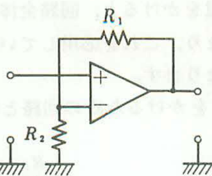
フーン

4　図aの場合は，オペアンプ単体の特性をそのまま利用し，比較回路への活用を学習しました。 ところで，図b，図cのように帰還をかけると，回路全体としてはすこし変わった特性をもつようになり，これを応用していろいろな働きをさせることができるようになります。 ここでR_1，R_2の回路部分を，帰還をかけるための回路という意味で帰還回路といっています。  （図a）　（図b）　（図c）	なにか 思わせぶりだなあ 「まあーネ」
5　それでは，前章で学習した内容を基礎にして，この章では図aや図bのように帰還をかけたときの回路の動作がどのようになるのか，また，どのような特性をもつようになるのかということについて学習し，さらに，それを応用するとどのような働きをさせることができるようになるのかを学習していきましょう。  （図a）　（図b）	OK　待ってました 「その調子 その調子」
6　まず図a，図bのそれぞれの回路について具体的に学習していく前に，図aのように出力電圧の一部を(ア)＿＿＿＿入力端子にもどした場合や，図bのように出力電圧の一部を(イ)＿＿＿＿入力端子にもどした場合に，どのような動作をするようになるのか，その概要をみておきましょう。  （図a）　（図b）	(ア)　非反転 (イ)　反転 どの端子にもどすかによって，動作が違うのですか 「そうなんですヨ」

7　さて，図aや図bのように帰還をかけると，どのような動作をするようになるのでしょうか。



(図a)

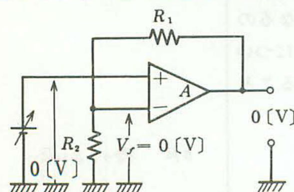


(図b)

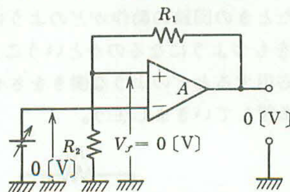
「お待たせしました　それでは いよいよ　帰還回路の動作に　入いりましょう」

8　わかりやすくするため図a，図bの回路とも，入力電圧が0〔V〕で，出力電圧も0〔V〕，したがってR_1，R_2によって帰還されてくる電圧(V_f)も0〔V〕であるとしてください。

この状態で図a，図bの回路の入力電圧を0〔V〕からすこし変化させたときの出力電圧がどのようになるかを考えてみます。



(図a)

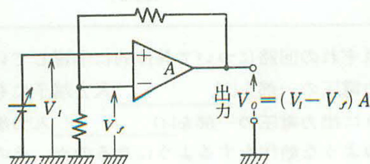


(図b)

「あわてないで　じっくり 考えて　下さいよ」

9　図のように出力側から反転入力端子に帰還をかけた回路では，つぎのような動作をするようになります。

入力電圧V_Iを0〔V〕から正方向に増加していくと，出力電圧V_Oもつぎのように正方向に増加していきます。



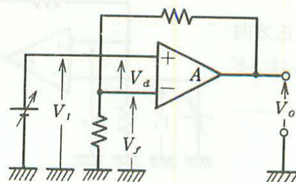
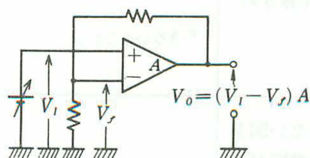
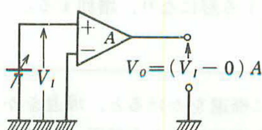
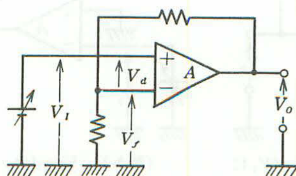
$V_O=(V_I-V_f)A$ …… V_Iが0〔V〕から正方向に増加すると，V_Oも0〔V〕から正方向に増加する。

（V_f：初期状態では0〔V〕）

そして，出力電圧V_Oが0〔V〕から正方向に増加すると，帰還回路を通じて帰還されてくる電圧V_fも，0〔V〕から $\left\{\begin{array}{l}\text{(ア)　正方向}\\ \text{(イ)　負方向}\end{array}\right\}$ に増加していきます。

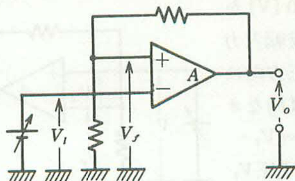
(ア)

「この帰還される電圧V_fが 問題ですぞ」

10　つまり，図のように出力電圧の一部を反転入力端子に帰還させた場合は，入力電圧V_Iを0〔V〕から正方向に増加すると，反転入力端子の電圧も0〔V〕から正方向に増加するようになり，実質的なオペアンプの入力電圧（$V_d=V_I-V_f$）は，回路に加えた入力電圧V_Iよりも小さくなってしまうわけです。  ① 入力電圧V_Iが0〔V〕から正方向に増加する。 ② 出力電圧V_oが0〔V〕から正方向に増加する。 ③ 帰還電圧V_fも0〔V〕から正方向に増加する。 ④ 実質的なオペアンプの入力電圧V_dはV_Iよりも小さくなる。	ナルホド V_Iが打ち消されるように V_fがもどってくる わけだ 「そう いう こと」
11　すなわち，図aのように帰還をかけていると，入力電圧V_Iを加えても実質的にオペアンプには（V_I-V_f）の電圧しか加わらなくなってしまうわけです。 　したがって，図bのように帰還をかけていない場合に比べると，出力電圧は{(ア) 小さく (イ) 大きく}なり，全体の増幅度$\frac{V_o}{V_I}$も{(ウ) 小さく (エ) 大きく}なってしまいます。  （図a）  （図b）	（ア）　小さく （ウ）　小さく 「図a，図bの 出力V_oの違いを よーく見て下さいネ」
12　ここで，オペアンプの二つの入力端子間に加わる実質的な入力電圧V_dのことを**差動入力電圧**といっています。  	差動入力電圧？ 「非反転入力端子と， 反転入力端子との差の 入力電圧ということ ですヨ」

13　それでは，図のように出力側から非反転入力端子に帰還をかけた場合はどうなるでしょう。

入力電圧V_Iが0〔V〕から正方向に増加すると，出力電圧V_oはつぎのようになって負方向に＿＿＿＿していきます。



$V_o=(V_f-V_I)A$……　V_Iが0〔V〕から正方向に増加すると，V_oは0〔V〕から負方向に増加する。

（初期状態では0〔V〕）

したがって，帰還回路を通じて帰還される電圧V_fも，0〔V〕から負方向に増加していくことになります。

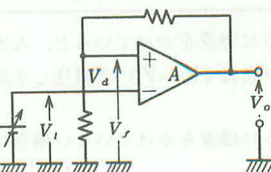
増加

エート
V_fが負方向に増加するということは………

「次のフレームへどうぞ」

14　つまり，図のように非反転入力端子に帰還をかけた場合は，入力電圧V_Iを0〔V〕から正方向に増加させると，帰還電圧V_fは0〔V〕から負方向に増加するようになります。

そして，オペアンプの実質的な入力電圧（差動入力電圧V_d）は，回路の入力電圧V_Iよりも増加するようになるわけです



（0〔V〕から負方向に増加）

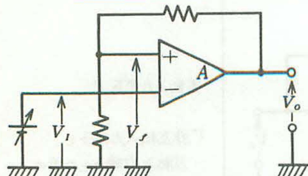
$V_d=V_f-V_I$……　V_I，V_fが互いに逆方向に増加するため，V_dの大きさはV_IとV_fが加算される形になり，増加する。

（0〔V〕から正方向に増加）

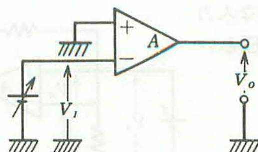
非反転入力端子と，反転入力端子へ帰還させるのとでは，まったく逆になるのか

「そういうこと」

15　すなわち，図aのように帰還をかけると，帰還をかけない図bの場合に比べてオペアンプの実質的な入力電圧（差動入力電圧V_d）は，回路に加えた入力電圧V_Iよりも大きくなり，全体の増幅度V_o/V_Iも＿＿＿＿＿くなるわけです。



（図a）　$V_d=V_f-V_I$ ⇒ V_fがV_Iに加算される方向に働く。



（図b）　$V_d=(0-V_I)$
$=-V_I$

大き

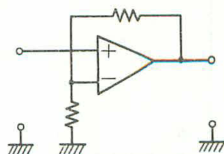
ナルホド
V_Iを加えると，オペアンプには，もっと大きな電圧がかかるようになるわけだ。

「そういうこと」

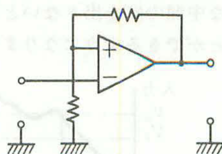
16 オペアンプに帰還をかけた場合，帰還のかけ方によってその動作がつぎのようになります。

図 a のように反転入力端子に帰還をかけた場合は実質的にオペアンプの入力電圧が減少する方向に働き，増幅度は(ア)＿＿＿＿します。

また，図 b のように非反転入力端子に帰還をかけた場合は，実質的にオペアンプの入力電圧が増加する方向に働き，増幅度は(イ)＿＿＿＿します。



（図 a）

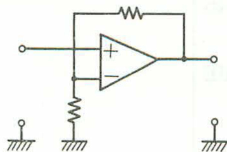


（図 b）

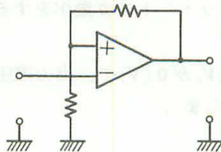
(ア) 減少
(イ) 増加

「いろんな使い方ができそうですネエー」

17 ここで，図 a のように実質的な入力電圧が小さくなるような帰還のかけ方，つまり，増幅度が小さくなるような帰還のかけ方を負帰還といい，また図 b のように実質的な入力電圧が大きくなるような帰還のかけ方，つまり，増幅度が大きくなるような帰還のかけ方を正帰還といっています。



（図 a）負帰還



（図 b）正帰還

「正帰還，負帰還という言葉は，よく使いますから，覚えて下さいヨ」

18 オペアンプに正帰還や負帰還をかけたとき，どのような動作になるかということは，理解できましたね。

正帰還をかけたときは増幅度が(ア)＿＿＿＿する方向に働き，また，負帰還をかけたときは増幅度が(イ)＿＿＿＿する方向に働きました。

(ア) 増加
(イ) 減少

19 ところで，いままでは正帰還や負帰還をかけたときに増幅度がどのようになるかということを中心にみてきましたが，実は，このように正帰還や負帰還をかけることによって，単に増幅度の点だけでなく，いろいろと役に立つ特性が得られるようになるのです。

それでは，このように帰還をかけることによって，全体としてどのような特性をもつようになるのか，また，それを応用するとどのような働きをさせることができるのかということについて，具体的に学習していきましょう。

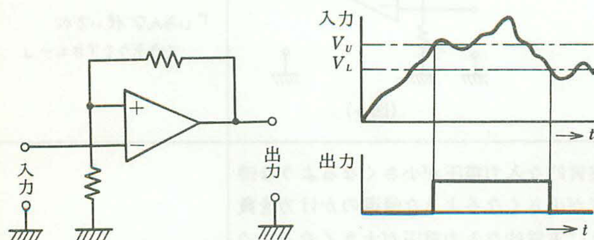
「特性がわかれば，次は応用ですよ」

OK！

20　正帰還回路

オペアンプに図のように正帰還をかけると，実質的なオペアンプの入力電圧が大きくなる方向に働き，増幅度も大きくなるということは，すでに学習しました。

ところで，実はこのように正帰還をかけて増幅度を大きくしていくと，第5章で学習したような中間の値を出さないというシュミット・トリガ動作を行わせることができるようになります。



ホー
それは おもしろい
そんなに簡単に
できるんですか

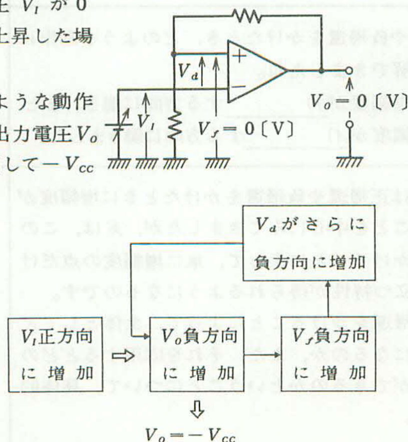
「まあーネ
おたのしみに」

21　それでは，ここでもう一度，正帰還をかけたときの動作をみなおし，どのようにしてシュミット・トリガ動作をするようになるのかを考えてみましょう。

ここでも，最初は入力電圧V_Iが0〔V〕で，出力電圧V_Oも帰還電圧V_fも，ともに0〔V〕であるとします。

この状態で，入力電圧 V_I が0〔V〕よりもわずかだけ上昇した場合を考えてください。

正帰還回路はつぎのような動作を繰り返し，最終的に出力電圧V_Oはマイナスの方向に飽和して$-V_{CC}$となります。

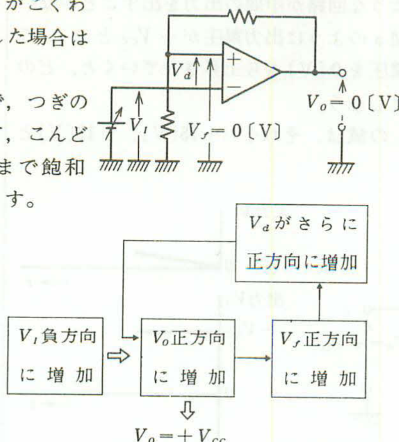


ナルホド
連鎖反応的に 0Vからの
ズレを拡大していく
わけだな

「そして，一瞬のうちに，
出力は，飽和する
わけです」

22 また，入力電圧 V_I がごくわずかだけ負方向に増加した場合はどうでしょうか。

さきほどと同じ要領で，つぎのような動作を繰り返して，こんどは出力電圧 V_o が $+V_{cc}$ まで飽和してしまうことになります。



すなわち，このように正帰還をかけた回路では，入力電圧 V_I がごくわずかでも0〔V〕から変化すると，出力電圧 V_o が $+V_{cc}$ か，または $-V_{cc}$ に________してしまうわけです。

するとこのような回路の出力電圧を，0〔V〕にするのは，かなりむつかしいことですね。

「ホー それが わかってくれれば スゴイネ」

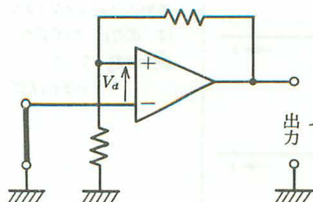
飽和

23 実際の動作では，オペアンプの実質的な入力電圧 V_d が常に完全に0〔V〕になるということはありえません。

たとえ図のように入力端子を接地しておいても，電源を入れたときのノイズであるとか，外部からのノイズであるとか，あるいは，IC内部のバランスの問題などといったいろいろな原因によって，入力電圧 V_d が生じ，そして正帰還を起こして，出力電圧 V_o は，(ア)________か，または(イ)________かのいずれかになってしまいます。

(ア) $+V_{cc}$
(イ) $-V_{cc}$

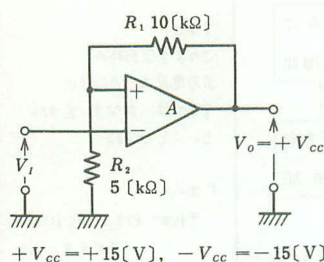
すなわち，このように正帰還をかけたときの回路動作は，出力電圧が常に $+V_{cc}$ か $-V_{cc}$ かのいずれかの値になり，これ以外の中間の出力を出す状態はなくなるわけです。



ナールホド 行きつくところまで行ってしまうわけだ

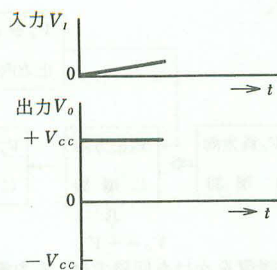
24　それでは次に，このような回路が中間の出力を出すことがないという前提で，たとえば図 a のように出力電圧が $+V_{CC}$ となっている状態において，入力電圧を 0〔V〕から上昇させていくと，どのようになるかを考えてみましょう。

ただし，$+V_{CC}$，$-V_{CC}$ の値は，それぞれ+15〔V〕，−15〔V〕とします。



$+V_{CC}=+15$〔V〕，$-V_{CC}=-15$〔V〕

（図 a）



（図 b）

「次のフレームへどうぞ」

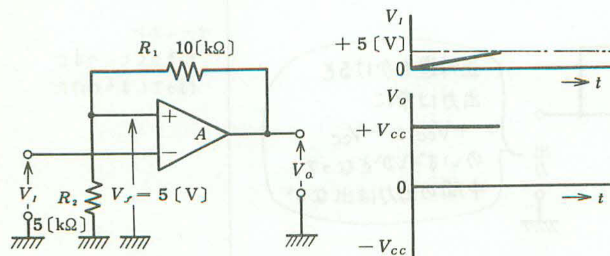
25　図のように出力電圧 V_O が $+V_{CC}$（+15〔V〕）の状態では，V_f はつぎのように 5〔V〕になります。

$$V_f = \frac{R_2}{R_1+R_2}\ V_O = \frac{5}{10+5} \times 15 = 5\text{〔V〕}$$

したがって，入力電圧 V_I がつぎのような値をとるときの出力電圧 V_O は，それぞれつぎのようになります。

○ $V_I = 0$〔V〕のとき⇨ $V_O = (5-0)A$ ⇨ +15〔V〕
○ $V_I = 2$〔V〕のとき⇨ $V_O = (5-2)A$ ⇨ (ア)________〔V〕　　(ア)　+15
○ $V_I = 4$〔V〕のとき⇨ $V_O = (5-4)A$ ⇨ (イ)________〔V〕　　(イ)　+15

つまり，入力電圧 V_I が $V_I = V_f$（5〔V〕）になるまでは，出力電圧は $+V_{CC}$（+15〔V〕）のままです。



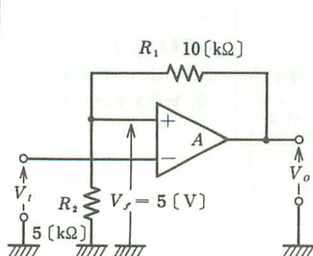
フンフン
差動入力が 0 となるまでは，出力は +15 V の飽和状態となっているわけだ。

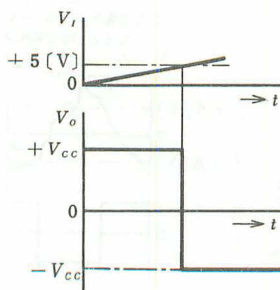
26 しかし，この回路で入力電圧が5〔V〕以上になるとどうでしょう。

この場合は，帰還電圧 V_f よりも入力電圧のほうが高くなってオペアンプの差動入力電圧 V_d が負となり，出力電圧 V_o は $-V_{cc}$（-15〔V〕）になってしまいます。

つまり，図の回路で出力電圧に $+V_{cc}$（$+15$〔V〕）が出ている状態で，入力電圧 V_I が $+5$〔V〕以上になると，出力は＿＿＿＿＿に変化することになります。

$-V_{cc}$（-15〔V〕）





ナルホド
帰還電圧との比較動作をするわけですね

「そういうこと
でも，正帰還がかかっているから，中間の出力電圧を出さないという事は忘れちゃダメですョ」

27 では次に，出力電圧 V_o に $-V_{cc}$ が出ている状態で，出力電圧が $-V_{cc}$ から $+V_{cc}$ に変化するのは，入力電圧 V_I がどのようになったときでしょうか。

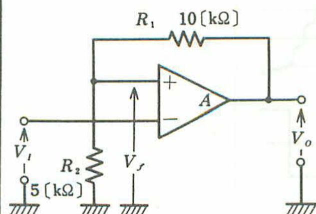
出力電圧 V_o が $-V_{cc}$（-15〔V〕）になっていると，V_f はつぎのように -5〔V〕となります。

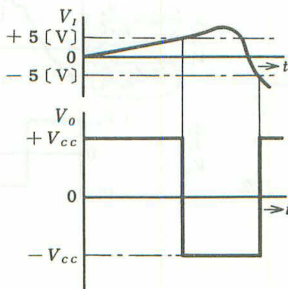
$$V_f = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(-V_{cc}) = \text{(ア)}\underline{\qquad\qquad}\text{〔V〕}$$

(ア) -5

したがって，入力電圧 V_I が(ア)＿＿＿＿＿〔V〕以下になると，オペアンプの差動入力電圧 V_d が正となり，V_o はもとの $+V_{cc}$ にもどります。

(イ) -5



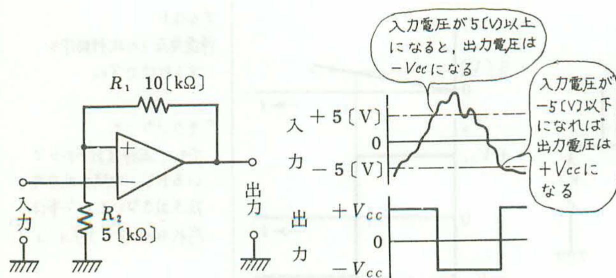


ナールホド
出力が反転する時の入力 V_I は違ってくるわけか

28　つまり，図 a の回路では，中間の出力電圧が出ることはなく，図 b のように入力電圧が 5〔V〕以上になれば，出力電圧は $-V_{CC}$ となり，入力電圧が -5〔V〕以下になれば，出力電圧は $+V_{CC}$ となるわけです。

すなわち，この回路は第 5 章で学習したシュミット・トリガ回路と同じ動作をすることになります。

$-V_{CC}$



（図a）　　（図b）

ウーン
正帰還をかけるとシュミット・トリガ回路と同じ動作をするわけか

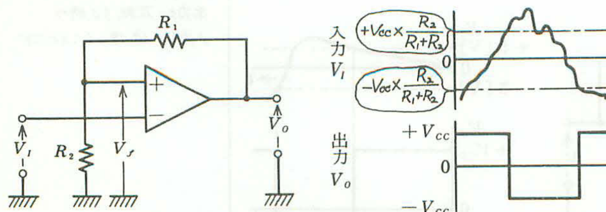
29　結局，図の回路は，オペアンプの比較判定機能を応用していることに変わりないのですが，入力電圧と比較判定する電圧値(V_r)が出力電圧によって変化するという動作をするわけです。

(1)　出力に $+V_{CC}$ が出ているときは $V_r = +V_{CC} \times \dfrac{R_2}{R_1 + R_2}$ となり，

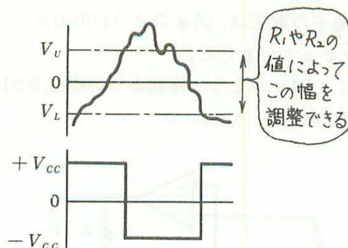
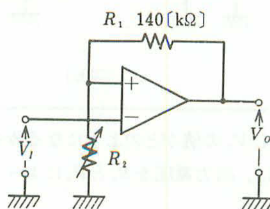
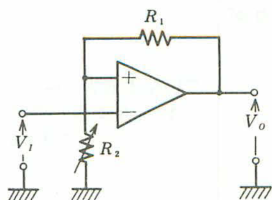
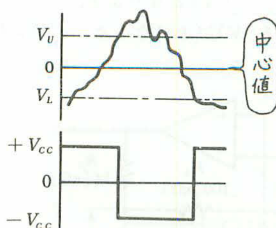
入力電圧 V_I がこの値以上になると出力電圧は(ア)＿＿＿＿となる。　(ア)　$-V_{CC}$

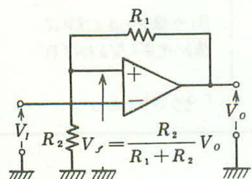
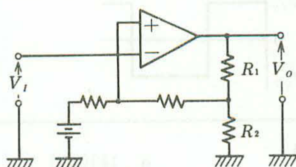
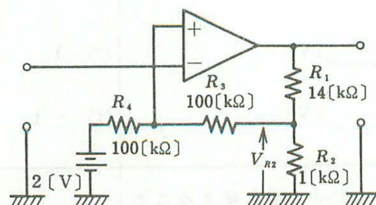
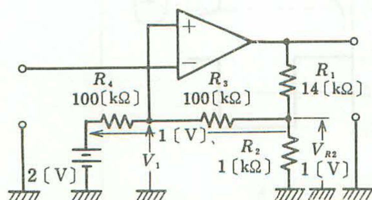
(2)　出力に $-V_{CC}$ が出ているときは $V_r = -V_{CC} \times \dfrac{R_2}{R_1 + R_2}$ となり，

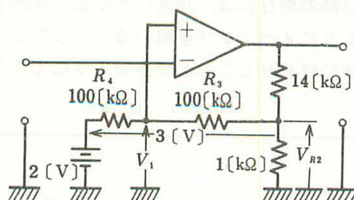
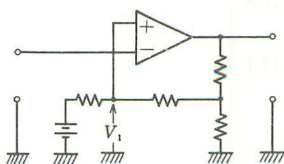
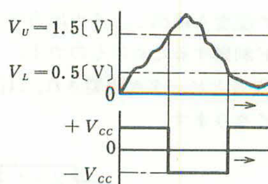
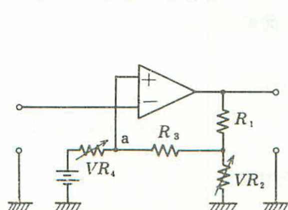
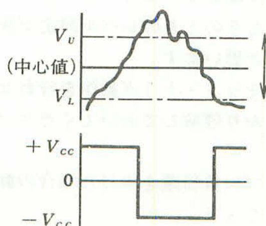
入力電圧 V_I がこの値以下になると出力電圧は(イ)＿＿＿＿となる。　(イ)　$+V_{CC}$



フン フン
ナルホド

30　したがって，R_1やR_2の値を変えて帰還電圧　V_f を変化させることにより，V_U と V_L の幅を調整することができるようになります。 	R_1の値を小さくすれば幅がせまくなるわけだ 「そういうこと」
31　図の回路は，V_U と V_L の幅を自由に設定できるように可変抵抗を接続した回路です。 　可変抵抗 R_2 が10〔kΩ〕のとき，V_Uおよび V_Lがどのようになるか求めてみてください(ただし，V_{CC}＝15〔V〕とします)。  $V_U=+V_{CC}\times\frac{R_2}{R_1+R_2}=$(ア)______〔V〕 $V_L=-V_{CC}\times\frac{R_2}{R_1+R_2}=$(イ)______〔V〕	(ア)　1 (イ)　－1
32　ところで，いままでの回路では，V_UとV_Lとの幅を変えることはできましたが，その中心値は常に図 b のように 0〔V〕になっていました。 　しかし，実際の場合にはV_Uのレベルが 5〔V〕で，V_L のレベルが 3〔V〕というように，中心値が 0〔V〕ではこまるときもあります。 　このようなときには，どうすればよいのでしょうか。  （図 a ）  （図 b ）	フン　フン 中心値が 0Vとは限らないからナアー

33 いままでは，非反転入力端子の電圧は，図 a のように出力からの帰還電圧 V_f だけによって定まっていました。 しかし，帰還電圧だけでなく，図 b のように外部からの電圧を別に非反転入力端子に加えるとどうでしょうか。  (図 a)  (図 b)	ウーン むつかしそうだなあ 「次のフレームへどうぞ」
34 では，図の回路で V_U および V_L の値がどのようになるかを求めてみましょう (図中の V_{R2} の値は，出力電圧を R_1 と R_2 によって分割した値になると考えてください)。  	VR_2 は R_1 と R_2 で分割した値になると考えていいのですか？ 「R_3 に対して，R_1, R_2 が充分小さいですからね」
35 出力に $+V_{CC}$ (+15〔V〕) が出ている場合は，$V_{R2}=1$〔V〕となります。 したがって，R_3〜R_4 での電圧降下は1〔V〕となり，また R_3 での電圧降下は(ア)______〔V〕となります。 そして，V_1 の値は R_3 での電圧降下と R_2 での電圧降下とを加えたものですから，V_1 =(イ)______〔V〕となります。 したがって，入力電圧が 1.5〔V〕以上になると，$-V_{CC}$ の出力が出るようになります。  	(ア) 0.5 (イ) 1.5 「VR_2 は前フレームまでの V_f と同じことですヨ」

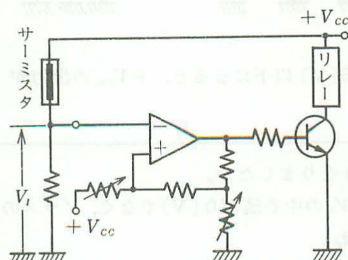
36 また，出力に$-V_{CC}$（-15〔V〕）が出ている場合は，$V_{R2}=-1$〔V〕となりますから，R_3～R_4での電圧降下は3〔V〕となり，R_3での電圧降下が1.5〔V〕となって，V_1の値は____〔V〕となります。  したがって，入力電圧が0.5〔V〕以下になると，$+V_{CC}$の出力が出るようになります。	0.5 フン フン
37 さて，V_UとV_Lの値はどうなりましたか。 図でもわかるように，V_UとV_Lの中心値が0〔V〕でなく，プラスの方向に移動してしまいましたね。 シュミット・トリガ回路で，V_Uの値およびV_Lの値が0〔V〕を中心として対称的な動作ではこまる場合は，図aのようにして非反転入力端子の電圧V_1を外部から変化させるようにすれば，自由に中心値が設定できるようになります。  （図a）  （図b）	ナールホド 非反転入力端子の電圧を外部から操作すればいいわけですね. 「そう いう こと」
38 図の回路は，V_UやV_Lの幅およびその中心値を自由に設定できるようにしたものです。 (1) VR_4を調整して点aの電位を変化させると，V_U，V_Lの中心値を変えることができます。 (2) VR_2を変えて帰還量を変化させることによって，V_UとV_Lの幅を変えることができます。  	ホー すると，この回路をつくっておくと，どんなシュミット・トリガ動作も得られるわけだ 「そう，シュミット・トリガの万能回路です」

39　いままでのトランジスタ回路の場合には，非常にめんどうな回路動作になりましたが，このようにオペアンプを用いると，このような動作を簡単に，しかも正確に行わせることができるようになります。

ますます
オペアンプが好きになりそうだ

40　図の回路は，サーミスタで温度を検出し，その検出電圧を，自由にレベル設定のできるシュミット・トリガ回路に加えて，リレーをON，OFFさせるようにした回路です。

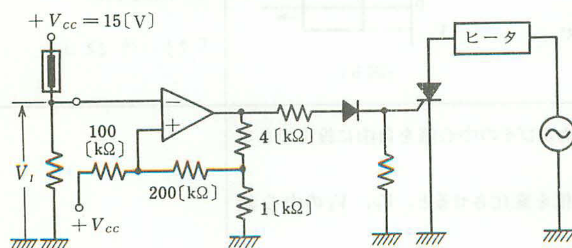
温度が低下するとV_Iが減少し，出力電圧は$+V_{CC}$となってリレーがONになります。



ナールホド
フン フン

41　図の回路は，サーミスタで温度を検出し，その出力でSCRを駆動してヒータをON－OFF制御するためのものです。

入力電圧V_Iが9〔V〕以下になるとヒータが駆動され，11〔V〕以上になるとヒータは駆動されなくなります。



「どうです。
オペアンプを用いると
簡単でしょ」

42　さて，オペアンプに正帰還をかけるとシュミット・トリガ動作をさせることができ，しかもそのときのレベル設定が非常に簡単に行えることがわかったことと思います。

オペアンプを用いてシュミット・トリガ動作を行わせる方法は，よく使われますから，しっかり理解しておいてください。

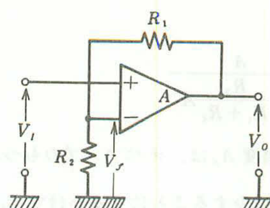
それでは次に，オペアンプに負帰還をかけた場合の動作や用途などについて学習していきましょう。

ハーイ
よく わかりました

43 負帰還回路

オペアンプに負帰還をかけると実質的な入力電圧が減少して増幅度が小さくなるということを，はじめに説明しました。

それでは，図の回路で入力 V_I を加えたときに，出力電圧や増幅度が具体的にどのような値になるのかを考えてみましょう。

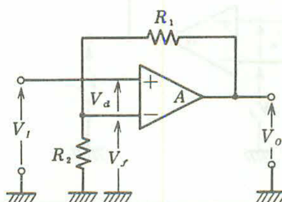


「他人まかせでなく，自分でも よーく 考えて下さいよ」

OK！

44 出力電圧 V_o は，オペアンプの増幅度を A とすると式(1)のように表されます。

一方，V_f は V_o によって帰還されてくるわけですから，この V_f の値を V_o で示すと式(2)のようになります。



$$V_o = (V_I - V_f)A \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

$$V_f = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_o \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

「この式は もう わかりますネ」

45 ここで式(2)を式(1)に代入し，この回路全体の V_I と V_o との関係をみてみると，どのようになるでしょうか。

① 式(1)を式(2)に代入する。

$$V_o = (V_I - V_f)A = \left(V_I - \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_o\right)A$$

$$= V_I A - \underbrace{\frac{R_2}{R_1 + R_2}}_{(ア)} V_o A$$

ウーン

② (ア)の項を左辺に移項し，V_o で整理する。

$$V_o + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_o A = V_I A \Rightarrow V_o\left(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} A\right) = V_I A$$

$$\therefore \quad \frac{V_o}{V_I} = \frac{A}{\boxed{}}$$

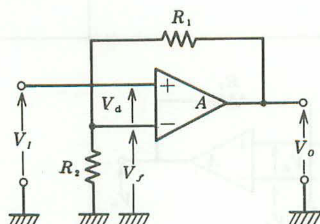
「数少ない 計算ですから 一度だけは カッチリ して下さいネ」

$$1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} A$$

46　負帰還回路を含めた全体の増幅度 $\frac{V_O}{V_I}$ は，つぎのようになりましたね。

$$\frac{V_O}{V_I}=\frac{A}{1+\frac{R_2}{R_1+R_2}A}$$

すなわち，回路全体の増幅度 A_f は，オペアンプのもつ増幅度 A に対して $\frac{1}{1+\frac{R_2}{R_1+R_2}A}$ に減少することになるわけです。



フン フン
$\frac{R_2}{R_1+R_2}A$ が大きくなればなるほど，増幅度が減少するわけだな

「そうですョ」

47　このように増幅度が小さくなるにもかかわらず，なぜこうして負帰還をかけて使用するのでしょうか。

もう一度，負帰還をかけたときの回路の増幅度 A_f の式をみてください。

$$A_f=\frac{A}{1+\frac{R_2}{R_1+R_2}A}$$

この式で $1\ll\frac{R_2}{R_1+R_2}A$ という条件が成立した場合，増幅度 A_f はどのようになるでしょうか。

$$A_f=\frac{A}{1+\frac{R_2}{R_1+R_2}A}\Rightarrow A_f=\frac{A}{\frac{R_2}{R_1+R_2}A}=\frac{\boxed{}}{R_2}$$

$1\ll\frac{R_2}{R_1+R_2}A$

R_1+R_2

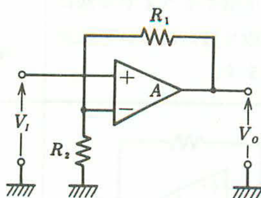
アレレッ
オペアンプの増幅度Aがなくなったぞ

「次のフレームへどうぞ」

48　全体の増幅度 A_f はつぎのようになりましたね。

$$A_f=\frac{V_O}{V_I}=\frac{R_1+R_2}{R_2}$$

つまり，$1\ll\frac{R_2}{R_1+R_2}A$ という条件が成立すれば，負帰還をかけたときの増幅度 A_f は帰還抵抗 R_1，R_2 によって決まり，オペアンプのもつ増幅度 A には無関係となります（一般には $\frac{R_2}{R_1+R_2}A$ が 100 以上になるような帰還抵抗が選ばれています）。

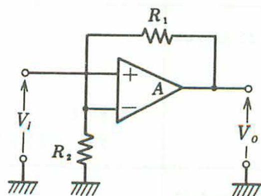


ナールホド
オペアンプの増幅度Aが
バラツイても．大丈夫と
いうわけか

「そう！
R1とR2の値だけで．
Afが決まるんだよ」

49　このように，負帰還をかけると増幅度は低下しますが，その増幅度はオペアンプのもつ増幅度 A とは無関係となり，外付けされた抵抗 R_1，R_2 によって決まることになるわけです。

すなわち，オペアンプの増幅度がバラついていても，外付けする抵抗値を正確に選ぶことによって，必要な増幅度を正確に得ることができるわけです。



$$\frac{V_O}{V_1}=\frac{R_1+R_2}{R_2}$$

増幅度が抵抗値
だけで定まる

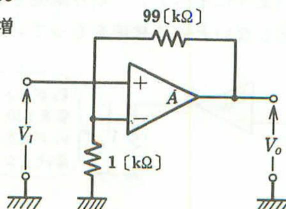
ウーン

負帰還って
おもしろいもんだなあ

「次章にいけば，もっと
楽しいことが起こるよ
おたのしみにネ」

50　たとえば，図のように $R_1=99$〔kΩ〕，$R_2=1$〔kΩ〕とすると，増幅度 A_f はつぎのようになります。

$$A_f=\frac{R_1+R_2}{R_2}=\frac{99+1}{1}=100$$



増幅度の計算も
らくだナアー

51 すこしめんどうな計算をしましたが，オペアンプにこのように負帰還をかけると，オペアンプの増幅度がどのようにバラついていても，これと無関係に外付けする抵抗によって増幅度が定まります。

したがって，正確な増幅度が得られるようになるわけです。

この特性が，オペアンプを活用するうえで非常にたいせつなことになります。

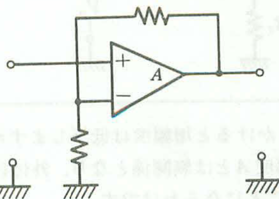
いままで，このＩＣのことを演算増幅器といっていましたが，このようにまるで演算をしているように正確な増幅度が得られるわけです。

オペアンプの負帰還動作は，オペアンプを活用するうえで非常にたいせつなことですから，このような回路の取り扱いについては次章でさらにくわしく学習していきたいと思います。

「アナタも 正確に学習して 下さいヨ」

ハイ，ハイ，帰還をかけながらネ

52 ところで，オペアンプに負帰還をかけた場合の利点は，このように単に正確な増幅度が得られるというだけではありません。



そのほかにも，いろいろな特徴があります。

そこで次に，オペアンプに負帰還をかけたときに現れるその他の特徴について学び，それがどのようなところに応用されているかということについて学習しておきましょう。

フェー まだ 他にあるんですか

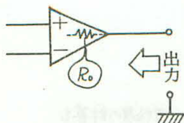
「そうですヨ」

53 オペアンプに負帰還をかけると，正確な増幅度が得られるということのほかに，つぎのような特徴が得られます。

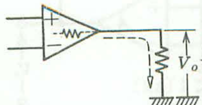
(1) 出力抵抗がさらに小さくなる。
(2) 増幅周波数帯域がさらに広くなる。

「前章でも ソレ でてきたでしょ」

54 出力抵抗とは，図ａのようにオペアンプの出力側から内部を見た抵抗 R_o のことをいい，出力抵抗が低いということは，この抵抗 R_o が非常に小さく，図ｂのようにオペアンプから電流を取り出しても出力電圧がほとんど変化しないという意味をもっています。



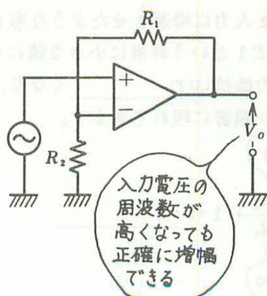
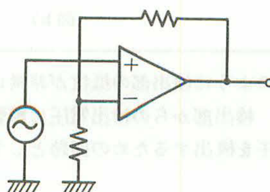
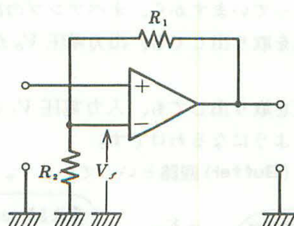
（図ａ）



（図ｂ）

出力端子の内部抵抗と考えていいのですか

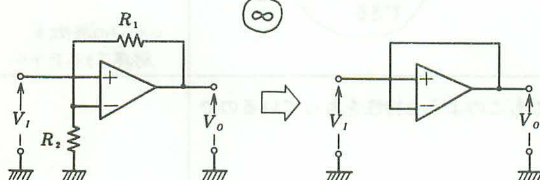
「まあーネ」

55 また，増幅周波数帯域が広くなるということは，図のようにオペアンプに交流信号電圧を加えたときに，たとえその周波数が高くなっても正確に増幅できるという意味をもっています。  	フーン いろいろな特徴を発揮するんだナー
56 本来，オペアンプは単体でもこのような特性をもっているのですが，負帰還をかけることによって，さらにその特性が向上するわけです。 (1) 出力抵抗がさらに低くなる。 (2) 増幅周波数帯域がさらに広くなる。 	負帰還のイリョクはすごいネエー
57 これらの特徴は，負帰還の量を大きくすればするほど，大きく現れるようになります。 すなわち，図の回路でR_1を小さく，R_2を大きくすればするほど，負帰還量が増加して出力抵抗は________くなり，増幅周波数帯域は広がっていきます。  つまり，たとえオペアンプの出力から電流を取り出しても，出力電圧はほとんど変化せず，さらにどのような周波数成分でも正確に増幅することができるようになるわけです。	小さ ナールホド これからは 大いに 活用しなくては……

58 そして，このような特性は，図bのように出力電圧をそのまま抵抗を通さずに入力に帰還させた状態が最大となります。

図bのように，出力をそのまま入力に帰還させたような形にすると，増幅度はつぎのように，ほぼ1という非常に小さな値になってしまいますが，それに対して出力抵抗は(ア)______くなり，増幅周波数帯域は広がるという特徴が顕著に現れてきます。

$$\frac{V_O}{V_I}=\frac{R_1+R_2}{R_2}=\frac{R_1}{R_2}+1 \Rightarrow (イ)______$$



(図a)　(図b)

(ア) 小さ

(イ) 1

「そして，外付け部品も必要ありません」

ホーッ，これは スバラシイー

59 このような回路は，図aのように検出部の抵抗が非常に高く，すこしでも電流を取り出すと，検出部からの検出電圧に影響を及ぼすといった場合に，正確に電圧を検出するための回路としてよく用いられています。

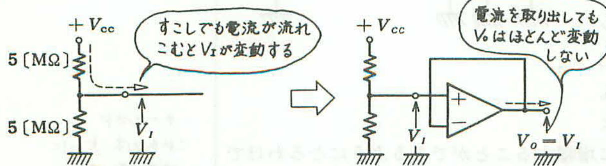
図bのようにすると，オペアンプの入力抵抗は非常に高いですから，検出部からほとんど電流を取り出しません。

したがって，オペアンプを接続しても，V_Iの値が変動することはありません。

また，負帰還が最大にかかっていますから，オペアンプの出力抵抗は非常に低く，たとえ電流を取り出しても，出力電圧 V_O が変動することはありません。

すなわち，たとえ出力電流を取り出しても，入力電圧 V_I の値を正確に検出することができるようになるわけです。

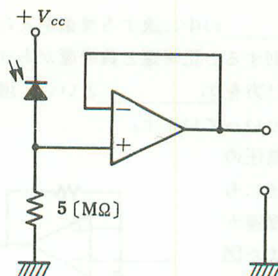
このような回路をバッファ(Buffer)回路といっています。



(図a)　(図b)

「Bufferのことを緩衝増幅器ともいいます」

60　図の回路は，ホトダイオードの検出電圧を正確に取り出すための回路です。



第2章で説明したように，ホトダイオードはダイオードの逆方向特性を利用したものですから，内部抵抗が非常に高いのですが，このバッファ回路を用いると，うまく検出できるようになります。

しかし，このようにすると増幅度は1となって，増幅機能をもたせることはできません。

したがって，このバッファ回路を通したあと，必要に応じて増幅するようにしています。

検出器からは，電流を取り出さずに，正確な電圧検出ができる　ということですね

「そういうこと」

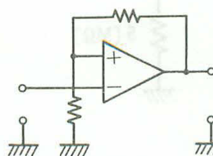
「ご苦労さんでした」

練習問題

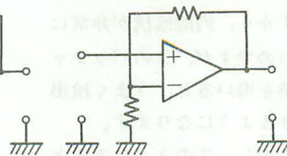
1　つぎの文章の＿＿＿＿＿の中に適する言葉を入れ，文章を完成しなさい。

(1)　帰還のかけ方を大別すると正帰還と負帰還がありますが，増幅度が実質的に低下するような帰還のかけ方を(ア)＿＿＿＿＿といい，増幅度が増加するような帰還のかけ方を(イ)＿＿＿＿＿といっています。

(2)　図aのように出力電圧の一部を非反転入力端子にもどすと(ア)＿＿＿＿＿帰還がかかるようになり，また図bのように出力電圧の一部を反転入力端子にもどすと(イ)＿＿＿＿＿帰還がかかるようになります。



（図a）



（図b）

(3)　負帰還をかけた回路では，外付けされた抵抗値のみによって増幅度が定まるようになりますが，それに加えてつぎのような特徴が現れてきます。

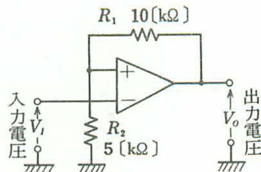
○出力抵抗が(ア)＿＿＿＿＿くなる。

○増幅周波数帯域が(イ)＿＿＿＿＿くなる。

2　図の回路はオペアンプを用いたシュミット・トリガ回路です（ただし，電源電圧は±15〔V〕）。

(1)　この回路で，出力電圧 V_o が $-V_{cc}$ から $+V_{cc}$ に変化するときの入力電圧 V_i は何ボルトですか。

(2)　また，出力電圧 V_o が $+V_{cc}$ から $-V_{cc}$ に変化するときの入力電圧 V_i は何ボルトですか。

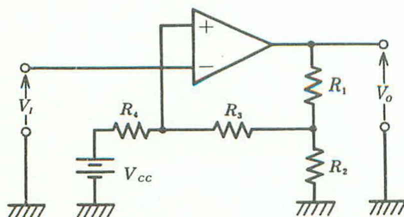


3　図bは図aのシュミット・トリガ回路の動作を示しています。

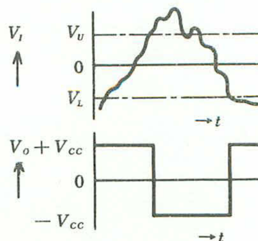
図aの R_1，R_2 の値に対して R_3，R_4 の値が非常に大きいものとして，つぎの問いに答えなさい。

(1)　図aの回路で R_2 の値を変化させると，V_U や V_L の値はどのように変化しますか。

(2)　図aの回路で R_4 の値を変化させると，V_U や V_L の値はどのように変化しますか。



（図a）



（図b）

11. オペアンプの活用法(II)

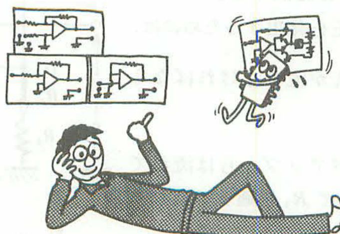
学習の目標

1．オペアンプに負帰還をかけたときに生じる現象を理解し，負帰還回路の取り扱い方を学習する。

(1) オペアンプに負帰還をかけたときに，どのような現象が生じるか。
(2) この現象を活用すると，負帰還回路の取り扱いがどのようにべんりになるのか。

2．オペアンプを用いた各種基本応用回路について学習する。

○反転増幅器　　　○非反転増幅器
○差動増幅器　　　○その他の各種回路

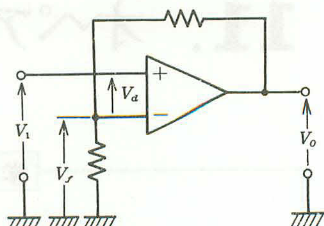


学習の概要

1．オペアンプの負帰還動作の考え方

(1)　オペアンプに負帰還をかけると，帰還電圧 V_f によって，差動入力電圧 V_d がほぼ 0〔V〕とみなせるような値になります。

この現象をイマジナル・ショートといっています。

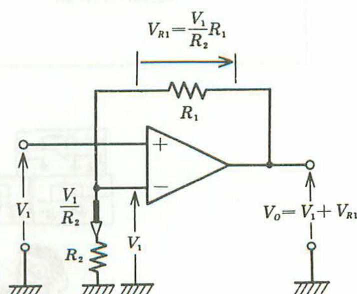


(2)　イマジナル・ショートの現象を積極的に利用すると，負帰還をかけたオペアンプ回路の動作をつぎのように考えることができます。

> 負帰還をかけたオペアンプ回路では，帰還されてくる電圧 V_f が作用して差動入力電圧 V_d が常に約 0〔V〕になるような出力電圧を出す。

(3)　この考え方を応用すると，負帰還をかけたオペアンプ回路の出力電圧は，簡単に求めることができるようになります。

〈例〉　図の回路の出力電圧はつぎのように求めることができます。



① 差動入力電圧を 0〔V〕にするために R_2 にも V_1 の電圧を発生する。

② R_2 に V_1 の電圧を発生するためには，R_2 に $\frac{V_1}{R_2}$ の電流が流れなければならない。

③ この電流はオペアンプからは流れてこないため，すべて R_1 を通って流れる。

④ R_1 にこの電流が流れると，R_1 では $V_{R1}=\frac{V_1}{R_2}R_1$ の電圧降下が発生する。

⑤ 出力電圧 V_o の値は $V_o=V_1+V_{R1}$ であり，つぎのようになる。

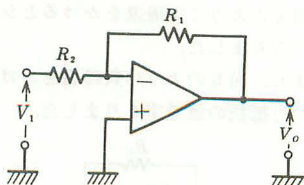
$$V_o=V_1+V_{R1}=V_1+\frac{V_1}{R_2}R_1=V_1\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)$$

2. オペアンプの応用

オペアンプの負帰還動作を応用することによって，いろいろな働きをする回路を正確に，しかも簡単に得ることができます。

(1) 反転増幅回路

① 図の回路は，入力電圧 V_1 が上昇すると出力電圧 V_0 が低下するという増幅回路です。



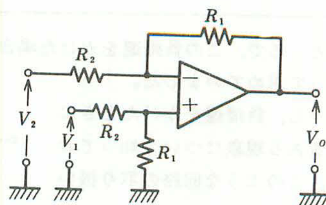
② このような回路を反転増幅回路といっています。

③ この回路の出力電圧 V_0 は，つぎのようになります。

$$V_0 = -\frac{R_1}{R_2} V_1$$

(2) 差動増幅回路

① 図の回路は，二つの入力端子に加えた電圧 V_1，V_2 の差の電圧（$V_1 - V_2$）を正確に増幅するという増幅回路です。



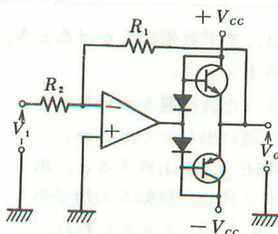
② このような回路を差動増幅回路といっています。

③ この回路の出力電圧 V_0 は，つぎのようになります。

$$V_0 = \frac{R_1}{R_2}(V_1 - V_2)$$

(3) 電力制御回路を付加した反転増幅回路

① 図の回路は，オペアンプ出力を電力制御回路に加え，大きな負荷をも駆動できるようにした反転増幅回路です。



② この回路の出力電圧 V_0 は，つぎのようになります。

$$V_0 = -\frac{R_1}{R_2}$$

(4) このほかにも，オペアンプを用いていろいろな働きをする回路をつくることができます。

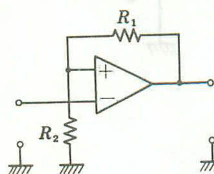
章末を参照してください。

学習の展開

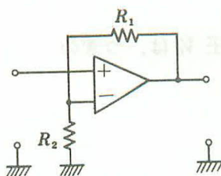
1　前章ではオペアンプに負帰還や正帰還をかけたとき，どのような動作をするかということと，それらの応用について学習しました。

図aのように正帰還をかけるとシュミット・トリガ動作をするようになりました。

また，図bのように負帰還をかけると，この回路の増幅度は外付けした抵抗の値で定まりました。



（図a）正帰還



（図b）負帰還

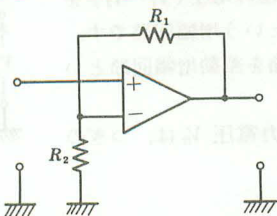
「正，負帰還の動作，特徴は覚えていますネ」

OK，バッチリです

2　ところで，この負帰還をかけた場合の増幅度を，前章では計算によって求めていました。

しかし，負帰還をかけたときに起こるある現象について知っておくと，このような回路の取り扱いが非常にらくになります。

そこで，いよいよオペアンプの最後の学習として，負帰還をかけたときの取り扱い方を学び，いろいろな機能回路への応用力をつけていきたいと思います。



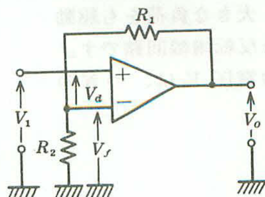
オヤ オヤ，もっと楽な方法があるのかな

ヨーシ ガンバルぞー

3　では，まず負帰還をかけたとき，どのような現象が現れるのかをみてみましょう。

図のような負帰還をかけたときの動作を思い出してください。

入力電圧 V_1 が上昇すると，出力 V_o が上昇し，反転入力端子の電圧 V_f も上昇してきましたね。



すなわち，負帰還はオペアンプの二つの入力端子間の電位差（$V_d = V_1 - V_f$）が｛(ア) 大きく／(イ) 小さく｝なるような方向に出力 V_o が帰還されてきました。

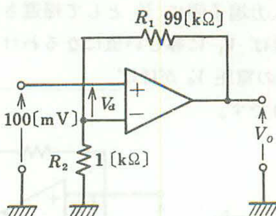
(イ)　小さく

「この現象が重要な意味をもつんですヨ」

フーン

4　そこで実際に，このような回路の差動入力電圧 V_d がどのような値になるかについて，図の回路に入力電圧 $V_1=100$〔mV〕を加えてしらべてみましょう。

図の回路の増幅度 A_f は，前章で学習したように，つぎのようになります。



$$A_f=\frac{V_o}{V_1}=\frac{R_1+R_2}{R_2}=(ア)\underline{\qquad\qquad}$$

したがって，出力電圧 V_o はつぎのように求められます。

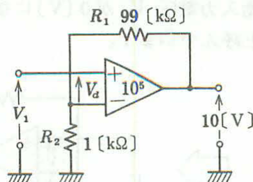
$$V_o=V_1\times A_f=100〔\mathrm{mV}〕\times 100=(イ)\underline{\qquad\qquad}〔\mathrm{V}〕$$

(ア)　100

(イ)　10

5　では，この状態でオペアンプの差動入力電圧 V_d の値はどのようになるでしょうか。

オペアンプの増幅度 A が 10^5 とすると，オペアンプの入出力間にはつぎの関係がありますから，出力に10〔V〕が出ているときの V_d の値はつぎのようになります。



$$V_o=V_d\cdot A \Rightarrow V_d=\frac{V_o}{A}=\underline{\qquad\qquad}〔\mathrm{mV}〕$$

0.1

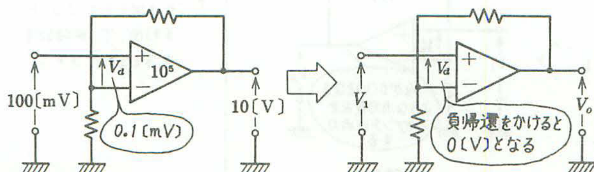
フン　フン

6　さて，入力電圧 V_1 に対して，オペアンプの差動入力電圧 V_d はどのような値になりましたか。

入力端子に加えた電圧 100〔mV〕に対して，実際にオペアンプの入力端子に加わる電圧は 0.1〔mV〕と非常に小さな値になってしまいましたね。

すなわち，オペアンプに負帰還をかけたときは，V_d が入力電圧 V_1 に対して非常に小さく，ほぼ0とみなせるような値になってしまうわけです。

実際の場合にも，負帰還をかけると，V_d の値は0とみなしてもまったく問題がないような値になります。

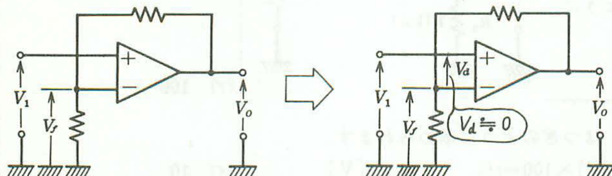


V_d の値が入力電圧 V_1 に対して，0だと考えられるということですね

「そう！　これが ポイントです」

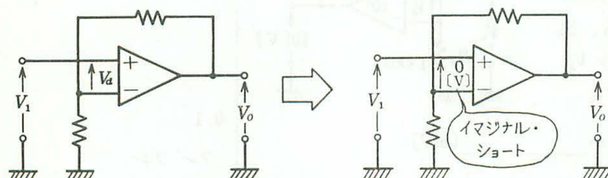
7　つまり，オペアンプに負帰還をかけると，入力電圧 V_1 が増幅され，その出力電圧 V_0 が入力端子側に V_f として帰還されてきますが，このとき V_f の値はほぼ V_1 に等しい値になるわけです。

そのため，V_1 と V_f との差の電圧 V_d がほぼ ________〔V〕になるような現象が起こるわけです。　**0**



ナルホド
差動入力は
0Vとなるわけか

8　このように，オペアンプに負帰還をかけたとき，出力電圧が帰還されてきて，実質的に差動入力電圧 V_d が0〔V〕になるという現象をイマジナル・ショートと呼んでいます。



イマジナルショート
日本語ではどうなるの？

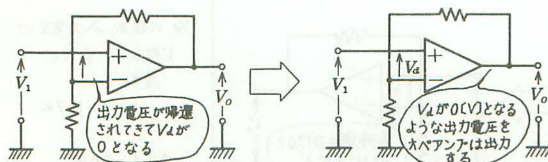
「仮想短絡とでも
訳すかな」

9　ところで，この現象をうまく利用すると，オペアンプの動作を考えるうえで非常にべんりになります。

いままでは図aのように，入力電圧を加えると増幅された出力電圧が現れ，この出力電圧が帰還されてきて，結果的にオペアンプの差動入力電圧 V_d が約0〔V〕になると考えてきました。

しかし，このようには考えず，図bのように負帰還をかけたオペアンプ回路は，差動入力電圧 V_d が約0〔V〕になるような出力電圧 V_0 を出すのだと考えるとどうでしょう。

実際には，このように考えてもまったく問題はありません。



（図a）　　（図b）

「このイマジナル・ショート
を利用して、回路動作
を考えるわけです」

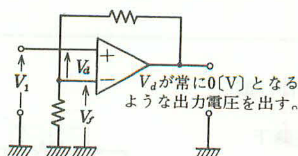
フーン

10　すなわち，負帰還をかけたときのオペアンプ回路の動作をつぎのように考えるわけです。

> 負帰還をかけたオペアンプ回路では，帰還されてくる電圧 V_f が作用して差動入力電圧 V_d が常に約 0〔V〕になるような出力電圧を出す。

(1)　V_1増加⇨V_dが 0〔V〕になるようにV_oが増加する。

(2)　V_1減少⇨V_dが 0〔V〕になるようにV_oが減少する。



ナールホド
おもしろい見方ができるんですね

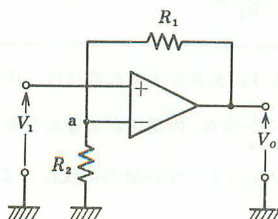
「ここが これからの学習のポイントですよ」

11　このような考え方をすると，オペアンプの負帰還回路の動作を考える場合，めんどうな計算をせずに簡単に理解できるようになります。

それでは，このような考え方で，図のような負帰還回路の増幅度がどのようになるかを改めてみなおしてみましょう。

こんどは入力電圧 V_1 が与えられて，それが増幅されて出力が現れるというように考えるのではなく，点 a の電位が入力電圧 V_1 と等しくなるような出力電圧 V_o が出るのだと考えるわけです。

すなわち，点 a の電位が V_1 と等しくなるためには，出力 V_o の値がいくらであればよいかということを考えればよいのです。



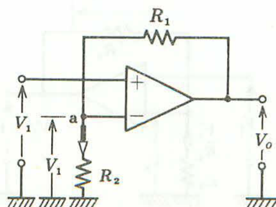
「ポイントは
$V_d=0$ という
イマジナル・ショートですヨ」

フン フン
$V_d=0$ なら，
V_1と a 点の電圧が
等しいわけだからなあ

12　さて，点 a の電位を V_1 と等しくするためには，出力電圧 V_o の値がいくらであればよいでしょうか。

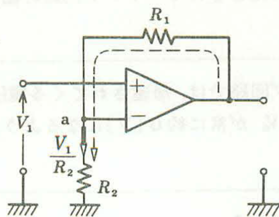
あとの学習の関係もありますから，すこしていねいに求めてみましょう。

点 a に V_1 と等しい電圧を生じさせるには，ここの電圧は R_2 による電圧降下で生じるのですから，R_2 に________の電流が流れていなければなりません。



$\dfrac{V_1}{R_2}$

13　そして，オペアンプの入力抵抗が非常に高いため，入力端子にはほとんど電流が流れませんから，この$\frac{V_1}{R_2}$の電流は，図のようにすべて出力側からR_1を通って流れていることになります。



「オペアンプの入力端子には，電流が流れないということ，覚えていますね」

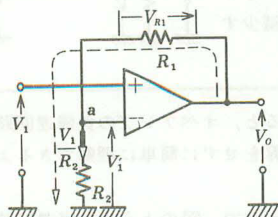
ハイ　ハイ

14　そして，この電流$\frac{V_1}{R_2}$は，抵抗R_1でもつぎのような電圧降下V_{R1}を生じます。

$$V_{R1}=\frac{V_1}{R_2}\times \boxed{}$$

したがって，点aの電位をV_1にするための出力電圧V_Oは，つぎのような式で示されます。

$$V_O=V_1+V_{R1}=V_1+\frac{V_1}{R_2}R_1$$



R_1

「わかるかな？」

キルヒホッフの第二法則でしょ

「スゴイネ」

15　すなわち，差動入力電圧V_dを0にするためには，出力電圧V_Oとして$V_O=V_1+V_{R1}=V_1+\frac{V_1}{R_2}\times R_1$の電圧が必要となるわけです。

つまり，それだけの電圧がオペアンプの出力に現れることになるのです。

では，この式から全体の増幅度$\frac{V_O}{V_1}$を求めると，どのようになるでしょうか。

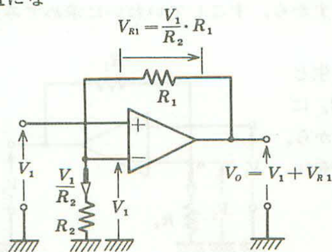
つぎのように，以前に求めたのと同様に　$1+\frac{R_1}{R_2}$という値になることがわかります。

$$V_O=V_1+\frac{V_1}{R_2}R_1$$

$$=V_1\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)$$

⇩

$$A_f=\frac{V_O}{V_1}=\underline{\qquad\qquad}$$



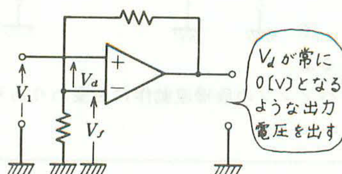
「10章 48フレームと比較して下さい」

$1+\frac{R_1}{R_2}$

16 このように，負帰還回路の動作を考える場合，与えられた入力電圧が増幅されて出力に現れると考えるのでなく，差動入力電圧 V_d が0〔V〕になるような出力電圧がでると考えておくと，非常に理解がしやすくなります。

そして，このように考えておくと，計算をする場合も非常に簡単に求めることができるようになります。

負帰還をかけた回路であれば，このような考え方を用いて動作を知ることができます。



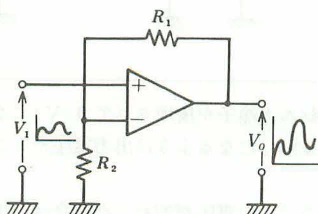
ナールホド

おもしろい　考え方ができるものですね

「わかりやすいでしョ」

17 オペアンプに負帰還をかけたときの動作の考え方は理解できましたね。

ところで，いままでに考えてきた負帰還増幅回路は，入力電圧 V_1 を非反転入力端子に加えていますから，図のように V_1 が0〔V〕から上昇すると，出力電圧 V_o も0〔V〕から上昇するという回路でした。



このような増幅回路を，入力に対して出力が反転しないという意味から**非反転増幅回路**といっています。

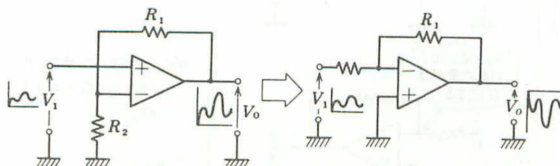
「トランジスタ一段の電圧増幅器はどうだったかな」

入，出力特性が逆だったなあ

18 では，図aのような非反転増幅回路を変形して，図bのようにするとどうでしょうか。

図bのように反転入力端子に入力電圧を加えると，入力に対して反転した出力を出す増幅器が得られます。

このような回路を，非反転増幅回路に対して**反転増幅回路**といっています。



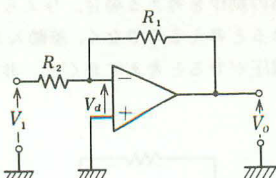
（図 a ）非反転増幅回路　　（図 b ）反転増幅回路

トランジスタ1段の場合と同じになるということですね．

「そういうことです」

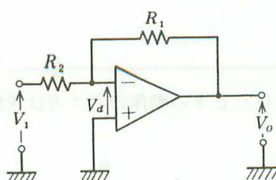
19　たとえこのようにしても，出力側から反転入力端子に帰還をかけているわけですから，負帰還をかけている点には変わりありません。

また，負帰還回路ですから，差動入力電圧 V_d が0〔V〕になるような出力電圧が出るというオペアンプの負帰還動作にも変わりありません。



「V_1の電圧を正方向に増加したとき，V_dがどのようになるか確認して下さい」
「V_1に対して V_dが小さくなる方向に働きますよ」

20　では，オペアンプの負帰還動作に対する理解をさらに深めるために，この反転増幅回路の動作をみていきましょう。



「ポイントは $V_d=0$ ですよ」

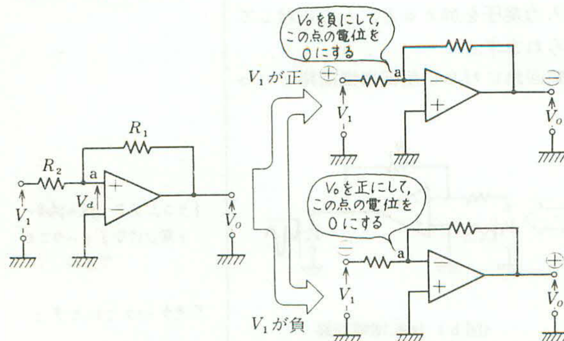
OK！

21　この回路の場合は，非反転入力端子が接地されて0〔V〕になっていますから，点aの電位も0〔V〕になるように出力電圧がコントロールされます。

もっと具体的にいうと，入力に正の電圧が加わった場合は，出力電圧を負にして，ちょうど点aの電位が0〔V〕になるように動作するわけです。

また，反対に入力に負の電圧が加わった場合は，出力電圧 V_o を $\left\{\begin{matrix}(ア)\ 正 \\ (イ)\ 負\end{matrix}\right\}$ にして，同じく点aの電位が(ウ)＿＿＿＿〔V〕になるように動作するわけです。

(ア) 正　　(ウ) 0



V_dを0〔V〕にするためには，こうならざるを得んなあ

「そうでしょう そのように働くのです」

22 このような場合の出力電圧 V_O も，いままでと同じ要領で求めることができます。

いま，入力電圧 V_1 が正の場合を考えてみましょう。

この場合，点 a の電位を 0 にするのですから，R_2の抵抗には$\frac{V_1}{R_2}$の電流が流れます。

この電流は，すでに述べたようにオペアンプには流れこみません。

オペアンプは，図 a のように出力側の電位をマイナス方向に下げて，この電流を抵抗 R_1 の側に流しこませるように働くわけです。

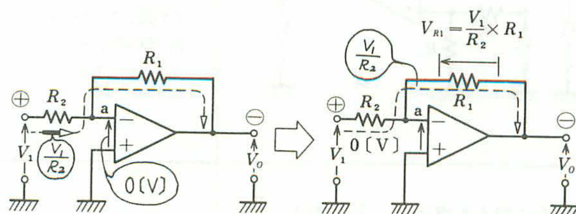
そして，この電流$\frac{V_1}{R_2}$によって抵抗 R_1 には図 b のように V_{R1}の電圧降下を生じるようになります。

さて，出力電圧はどのようになっているでしょうか。

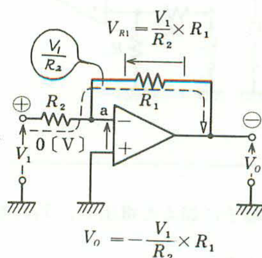
出力電圧は，点 a の電位が 0〔V〕ですから，R_1での電圧降下だけとなり，つぎのようにマイナスの極性をもったものとなります。

$$V_O = -V_{R1} = \underline{\qquad\qquad}$$

$-\frac{V_1}{R_2} \times R_1$



（図 a）



（図 b）

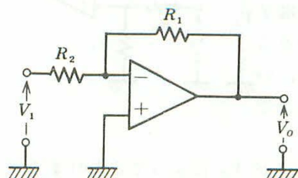
ナールホド
すごく 簡単だナァー

「どんな 出力が
現れるか が
すぐ わかりますネ」

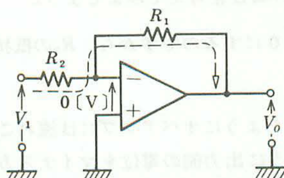
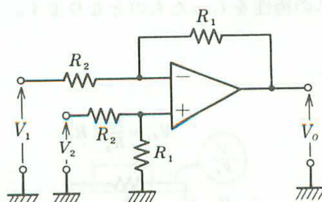
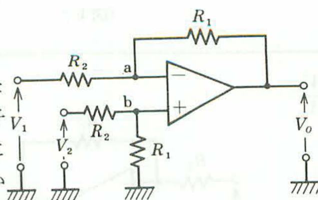
23 したがって，増幅度$\frac{V_O}{V_1}$はつぎのようになります。

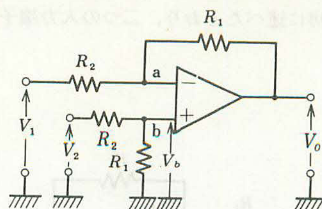
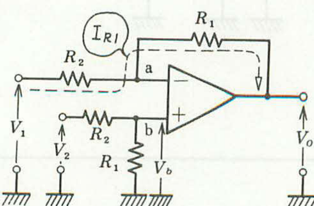
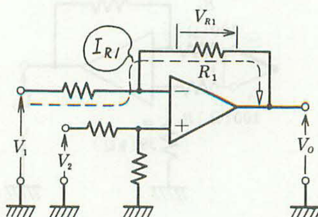
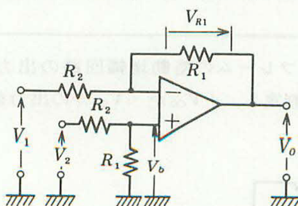
$$V_O = -\frac{V_1}{R_2} \times R_1$$

$$\therefore \quad \frac{V_O}{V_1} = \underline{\qquad\qquad}$$



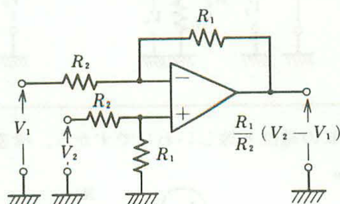
$-\frac{R_1}{R_2}$

24　オペアンプに負帰還をかけたときの考え方がわかりましたか。 これらの回路動作を考えていくときのポイントは，すでに述べたようにつぎの二つの点です。 (1)　負帰還回路では，差動入力電圧V_aが(ア)＿＿＿＿〔V〕になる。 (2)　オペアンプは入力抵抗が非常に高く，オペアンプの入力端子には電流が(イ)＿＿＿＿。  これら二点のことさえ理解しておけば，ほとんどのオペアンプ回路がわかるようになりますから，しっかり覚えておいてください。	(ア)　0 (イ)　流れない ハーイ わかりました
25　それでは，いままでの学習のまとめをかねて，図のような回路の動作を考えてみましょう。 いろいろな働きをする回路例がでてきますが，章末にまとめて示しておきます。 ここでは負帰還回路の取り扱い方をしっかり身につけてください。 	「R_1やR_2の記号を二箇所で利用しているのは，同一値の抵抗をつけているからですヨ」
26　図の回路は，二つの入力端子に加えた電圧V_1，V_2の差を$\frac{R_1}{R_2}$倍に増幅する差動増幅器としての働きをするものです。  このように回路がやや複雑になっても，出力電圧を反転入力端子にもどして負帰還をかけていることに変わりはありませんから，いままでと同じ考え方でよいわけです。 この回路の場合は点bの電位が V_2 によって定まりますから，点aの電位が点bの電位に等しくなるような出力電圧を出すようになります。	点bの電位がV_2によって定まる？

27 それでは具体的に動作をみていきましょう。 まず，点bの電位 V_b はつぎのようになります。 $V_b=\dfrac{R_1}{R_1+R_2}\times$ ☐  	「メモ用紙を出して，自分でも計算して下さいネ」 V_2
28 次に，点aの電位は点bの電位と等しいわけですから，帰還回路の抵抗 R_1 に流れる電流 I_{R1} はつぎのようになります。 $I_{R1}=\dfrac{V_1-\square}{R_2}$ $=\dfrac{V_1}{R_2}-\dfrac{V_b}{R_2}$ $=\dfrac{V_1}{R_2}-\dfrac{1}{R_2}\cdot\dfrac{R_1V_2}{R_1+R_2}$  	V_b フン　フン
29 したがって，この抵抗 R_1 における電圧降下 V_{R1} はつぎのようになります。 $V_{R1}=-I_{R1}\cdot R_1$ $=-\dfrac{V_1R_1}{R_2}+\dfrac{V_2R_1{}^2}{R_2(R_1+R_2)}$  	「回路を見ながら計算を進めて下さいヨ」
30 出力電圧 V_o は，この V_{R1} と V_b との和となりますから，順次式を整理していくとつぎのようになります。 $V_o=V_b+V_{R1}$ $=\dfrac{V_2R_1}{R_1+R_2}-\dfrac{V_1R_1}{R_2}+\dfrac{V_2R_1{}^2}{R_2(R_1+R_2)}$ $=\dfrac{V_2R_1R_2-V_1R_1(R_1+R_2)+V_2R_1{}^2}{R_2(R_1+R_2)}$ $=\dfrac{V_2R_1(R_1+R_2)-V_1R_1(R_1+R_2)}{R_2(R_1+R_2)}$ $=\dfrac{V_2R_1}{R_2}-\dfrac{V_1R_1}{R_2}=\dfrac{R_1}{R_2}(\square)$  	ウーン　大変だナァ 「式の変換だけですョ」 V_2-V_1

31 すなわち，この回路は最初に述べたとおり，二つの入力端子に加えた電圧の差を$\frac{R_1}{R_2}$倍に増幅する差動増幅器としての働きをしています。

オペアンプは単体でも差動増幅器としての働きをしているわけですが，このような回路に組むと，非常に正確な増幅度を得ることができるようになります。



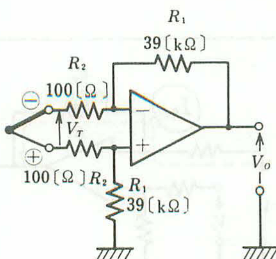
増幅度はR_1とR_2の値で決まることになるのか

「そうですョ．すごく あっさりした値に なったでしょ」

「R_1やR_2の抵抗を同じ値にしたところがポイントです」

32 図の回路は，熱電対で温度を検出し，その検出電圧を差動増幅回路で増幅しようとする回路です。

この回路ではR_1, R_2にそれぞれ39〔kΩ〕, 100〔Ω〕がついていますから，熱電対の検出電圧V_Tが________倍に増幅されて出てきます。

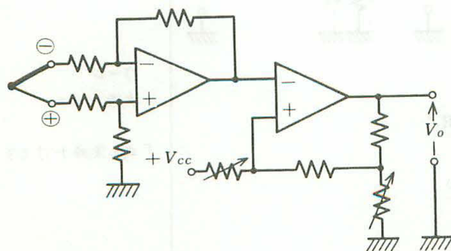


390

アレッ こんな使い方もできるんですか

「もちろん 前フレームのV_1-V_2がV_Tとなるわけですョ」

33 また，図の回路は，前フレームの差動増幅回路の出力電圧を________回路でレベル判定し，$+V_{CC}$か$-V_{CC}$かの出力を出させるようにした回路です。



シュミット・トリガ

フン フン

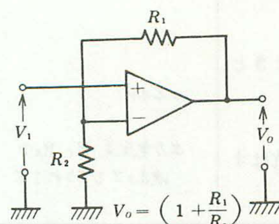
この出力でSCRやトライアックを駆動すれば，いいわけだ。

34　オペアンプの負帰還回路の動作についての考え方は，もうじゅうぶんわかりましたね。

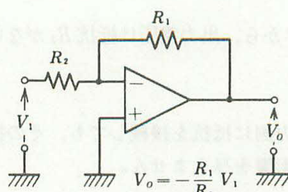
このような負帰還動作は，オペアンプの各種の応用を考えるうえで非常に重要です。

いままでの学習で，図のような非反転増幅器，反転増幅器，差動増幅器のそれぞれの動作をみてきましたが，これ以外にも負帰還動作をさせていろいろな機能をもたせた回路があります。

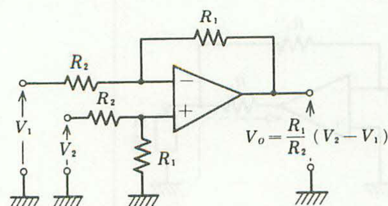
章末に，これらの各種機能回路の例を項目別に示しておきますので，参照してください。



(図 a)　非反転増幅器



(図 b)　反転増幅器



(図 c)　差動増幅器

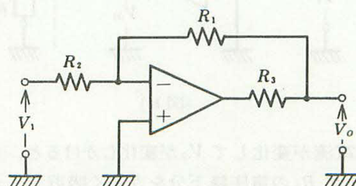
ウーン
いろいろ 出てきたなあー

「Vd=0 の考え方を
つかえば
出力Voの式は
導き出せるはずですヨ」

35　さて，最後にくどいようですが，オペアンプの負帰還動作についてより完全に理解するために，もう一度だけ図のような回路の動作を考えてみたいと思います。

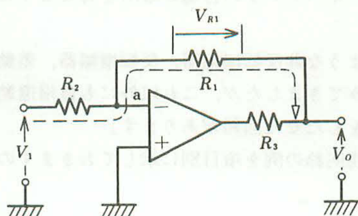
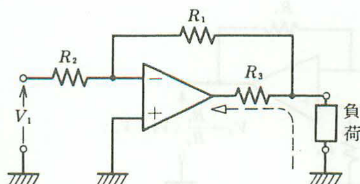
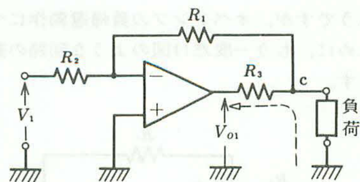
この回路では，オペアンプ出力のところに抵抗 R_3 がはいっています。

この回路の示す動作も，オペアンプの応用を考えるうえで非常にたいせつです。

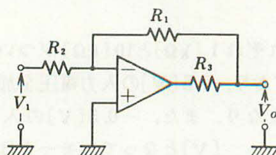


この回路は
なにをするための回路
かな

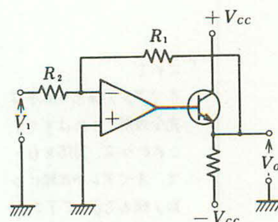
「負帰還動作を
より完全に把握しよう
とするための
ものです」

36　この場合にも，負帰還動作の基本的な考え方は同じです。 すなわち，点 a の電位が＿＿＿＿＿＿〔V〕となるような動作をします。 したがって R_1 には $\frac{V_1}{R_2}$ の電流が流れ，R_1 にはつぎのような電圧降下 V_{R1} が生じます。  $$V_{R1}=-\frac{V_1}{R_2}\times R_1$$ そして，この値がそのまま出力電圧 V_o になりますから，出力電圧は抵抗 R_3 がないときと同じになります。 つまり，オペアンプの出力側に抵抗を接続しても，その抵抗はオペアンプの動作にまったく影響を与えません。	0 ナルホド 出力電圧は R_1, R_2 で決まってしまうわけだ
37　このことは，図のように出力側に負荷抵抗をつけて，負荷電流を流した場合も同じです。  (図 a) 図 a のように負荷電流を流すと，それによる R_3 の電圧降下で出力が変化しそうに感じますが，そのようなことはありません。 なぜなら，もし負荷電流によって出力が $-\frac{R_1}{R_2}V_1$ にならなければ，イマジナル・ショートが成立しなくなるからです。  (図 b) 実際には，図 b のように電流が変化して V_o が変化しかけると，オペアンプの出力 V_{O1} が変化して R_3 の電圧降下分をうまく吸収し，点 c には以前と同じ出力が出るように働くのです。	ウーン これは面白い 特性だナアー 「オペアンプならではのものですョ」

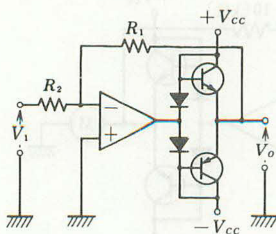
38 それでは，図 a の考え方を適用して，図 b や図 c のようにオペアンプの出力にトランジスタを用いた電力制御段を接続した回路について考えてみてください。



（図 a）



（図 b）



（図 c）

「出力 V_o は どうなるかナ」

39 どのようになりましたか。

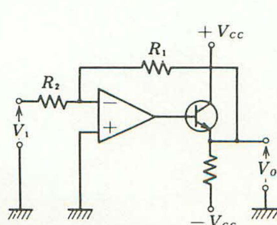
たとえこのように電力制御段を接続しても，R_1 を通じて負帰還がかかっていることには違いありません。

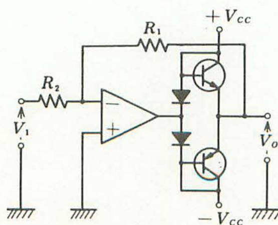
したがって，いままでと同じ考え方で取り扱うことができます。

出力端子の電圧 V_o は，前フレームの図 a の回路動作で求めたように，正確に［　　　］$\times V_1$ になります。

$-\dfrac{R_2}{R_1}$

オペアンプは集積回路ですから，大きな電力は扱えないため，オペアンプ出力で直接大きな負荷を働かせることはできませんが，このようにトランジスタを用いた電力制御回路を介することによって，正確な出力電圧が出せ，しかも大電力負荷を駆動することが可能になるのです。

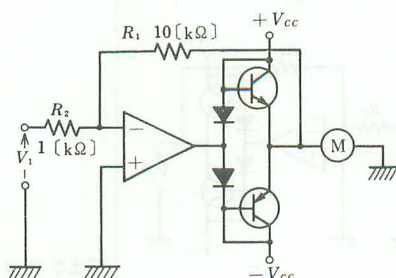




「オペアンプを うまく利用すると いろんな 使い方ができるんだョ」

40　図の回路は，オペアンプ出力を電力制御回路に加え，モータをコントロールする回路です。

この回路では R_1 と R_2 にそれぞれ１〔kΩ〕と10〔kΩ〕がついていますから，増幅度が10倍となっており，0.5〔V〕の入力電圧を加えると出力電圧は(ア)＿＿＿＿〔V〕となり，また，−0.5〔V〕の入力電圧を加えると出力電圧は(イ)＿＿＿＿〔V〕となって，モータは正逆にコントロールされます。



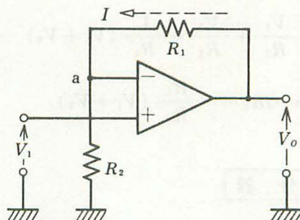
(ア)　−５
(イ)　＋５

「どうも　ご苦労さん
でした」

「これで
オペアンプ活用の基本は
充分理解できたはずです.
これからは. 自信をもって. オペアンプ回路にも
取り組んでいって下さい」

オペアンプ応用基本回路

非反転増幅器



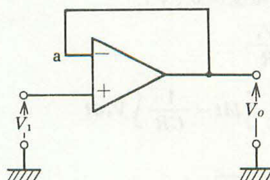
入力と同相で $\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)$ 倍の出力が得られる。

∘ 点 a の電位 $= V_1$

∘ $I = \frac{V_1}{R_2}$

∘ $V_o = V_1 + IR_1 = \left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)V_1$

バッファ(電圧フォロワ)

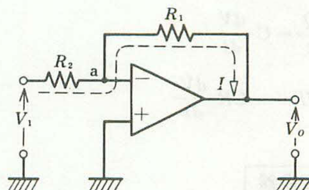


入力抵抗が非常に大きく，出力抵抗が非常に小さい増幅度 1 の回路。

∘ 点 a の電位 $= V_1$

∘ $V_o = V_1$

反転増幅器



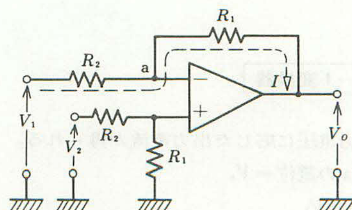
入力と逆相の $\frac{R_1}{R_2}$ 倍の出力が得られる。

∘ 点 a の電位 = 0〔V〕

∘ $I = \frac{V_1}{R_2}$

∘ $V_o = -IR_1 = -\frac{R_1}{R_2}V_1$

差動増幅器



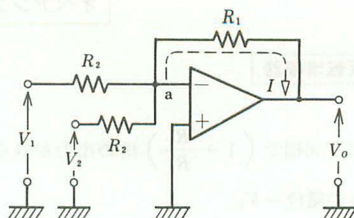
$(V_2 - V_1)$ を $\frac{R_1}{R_2}$ 倍した出力が得られる。

∘ 点 a の電位 $= \frac{R_1}{R_1+R_2}V_2$

∘ $I = \frac{V_1 - \frac{R_1}{R_1+R_2}V_2}{R_2}$

∘ $V_o = \frac{R_1}{R_1+R_2}V_2 - IR_1 = \frac{R_1}{R_2}(V_2 - V_1)$

加　算　器



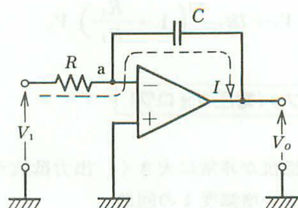
入力電圧 V_1, V_2 を加算した出力が得られる。

∘ 点 a の電位＝0〔V〕

∘ $I=\dfrac{V_1}{R_2}+\dfrac{V_2}{R_2}=\dfrac{1}{R_2}(V_1+V_2)$

∘ $V_o=-IR_1=-\dfrac{R_1}{R_2}(V_1+V_2)$

積　分　器



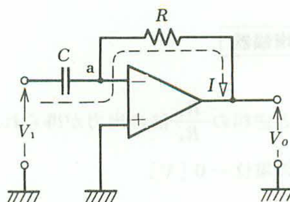
入力電圧を積分した出力が得られる。

∘ 点 a の電位＝0〔V〕

∘ $I=\dfrac{V_1}{R}$

∘ $V_o=\dfrac{1}{C}\displaystyle\int Idt=\dfrac{1}{CR}\int V_1 dt$

微　分　器



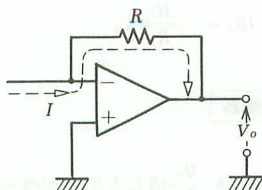
入力電圧を微分した出力が得られる。

∘ 点 a の電位＝0〔V〕

∘ $I=\dfrac{dQ}{dt}=C\dfrac{dV}{dt}$

∘ $V_o=-IR=-CR\dfrac{dV}{dt}$

I－V変換器

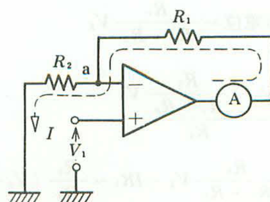


入力電流に応じた出力電圧が得られる。

∘ 点 a の電位＝0〔V〕

∘ $V_o=-IR$

V－I変換器

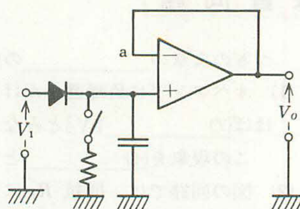


入力電圧に応じた出力電流が得られる。

∘ 点 a の電位＝V_1

∘ $I=\dfrac{V_1}{R_2}$

ピークホールド

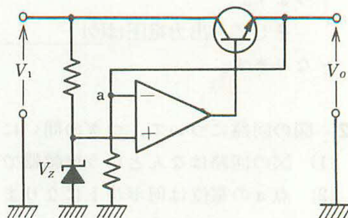


入力電圧の最大値に応じた出力が得られる。

◦ 点 a の電位 = $V_{1\,max}$

◦ $V_O = V_{1\,max}$

定電圧電源



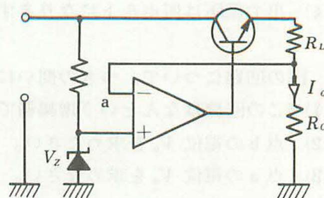
入力電圧が変動しても，V_Zの電圧値に応じた出力が得られる。

（ただし $V_1 \geqq V_Z$の場合）

◦ 点 a の電位 = V_Z

◦ $V_O = V_Z$

定電流電源



R_Lの値が変化しても，R_Lには$\dfrac{V_Z}{R_O}$の電流が流れる。

◦ 点 a の電位 = V_Z

◦ $I_O = \dfrac{V_Z}{R_O}$

練習問題

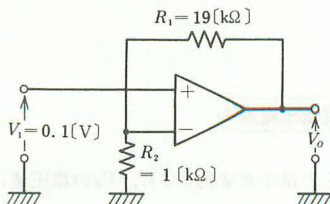
1　つぎの文章の＿＿＿＿の中に適する言葉を入れ，文章を完成しなさい。

(1)　オペアンプに負帰還をかけた回路では，出力電圧が帰還されて，差動入力電圧がほぼ(ア)＿＿＿＿〔V〕とみなせるような値になります。

この現象を(イ)＿＿＿＿といっています。

(2)　図の回路では，抵抗 R_2 に生じる電圧降下が(ア)＿＿＿＿〔V〕となり，また，R_1 や R_2 に流れる電流は(イ)＿＿＿＿〔mA〕となります。

そして，出力電圧は(ウ)＿＿＿＿〔V〕となります。



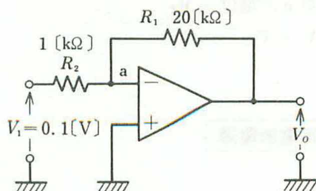
2　図の回路について，つぎの問いに答えなさい。

(1)　図の回路はなんという増幅器ですか。

(2)　点 a の電位は何ボルトになりますか。

(3)　R_1，R_2 にはそれぞれ何ミリ・アンペアの電流が流れますか。

(4)　出力電圧は何ボルトになりますか。



3　図の回路について，つぎの問いに答えなさい。

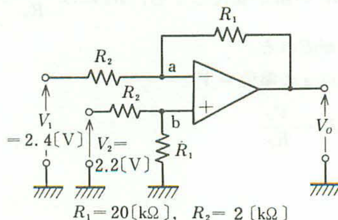
(1)　この回路はなんという増幅器ですか。

(2)　点 b の電位 V_b を求めなさい。

(3)　点 a の電位 V_a を求めなさい。

(4)　点 a に接続されている R_1，R_2 にはそれぞれ何ミリ・アンペアの電流が流れますか。

(5)　V_O は何ボルトになりますか。

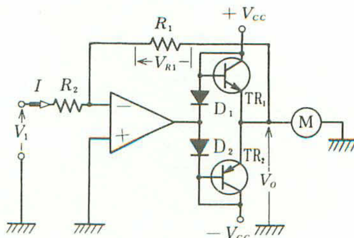


4　図の回路について，つぎの問いに答えなさい。

(1)　R_2 に流れる電流 I はどのような式で示されますか。

(2)　R_1 での電圧降下 V_{R1} はどのような式で示されますか。

(3)　電圧 V_O はどのような式で示されますか。

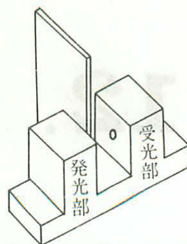


12. 応 用 回 路

一般に利用されている電子制御の応用事例について，簡単なものから配列しています。
いままでの学習の総まとめとして，また，自分で何かをつくろうとするときの参考として活用してください。



1 光を利用した物体の検出

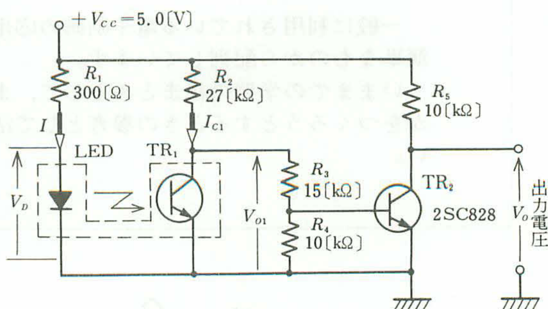


(1) 動作概要

① 発光部と受光部との間を物体が通過して光をしゃ断することによって，物体を検出します。

② 出力端子の電圧は，光がしゃ断されているときには約0〔V〕，そうでないときには約5〔V〕になります。

(2) 回路概要



① 受光部にはホトトランジスタ(TR_1)，発光部には発光ダイオード(ＬＥＤ)を用いています。

② 発光ダイオードとはダイオードの一種で，十数ミリ・アンペア程度の順方向電流を流すと発光するという半導体素子です。

順方向電流を流しているときの発光ダイオード両端の電圧V_Dは約 2〔V〕になります。

③ 発光ダイオードからの光をホトトランジスタで受け，その出力をトランジスタ(TR_2)で増幅しています。

(3) 回路動作

① 発光ダイオードの電圧降下 V_D を2〔V〕とすると，発光ダイオードにはつぎのような電流 I が流れて点灯します。

$$I=\frac{V_{CC}-V_D}{R_1}=\frac{5-2}{300}=10〔\mathrm{mA}〕$$

② 物体が光をしゃ断していないときはホトトランジスタに光がはいり，コレクタ電流I_{C1}が流れて，V_{O1} が約0〔V〕になります。

したがって，TR_2 のベース電流も流れず，出力電圧 V_o は約5〔V〕になっています。

③ 物体が光をしゃ断すると，ホトトランジスタには光がはいらなくなり，I_{C1} が流れず，V_{O1} が約5〔V〕になります。

したがって，TR_2 にはベース電流が流れ，コレクタ電流も流れて，出力電圧は約0〔V〕になります。

2　自動停止つき灯油供給ポンプ

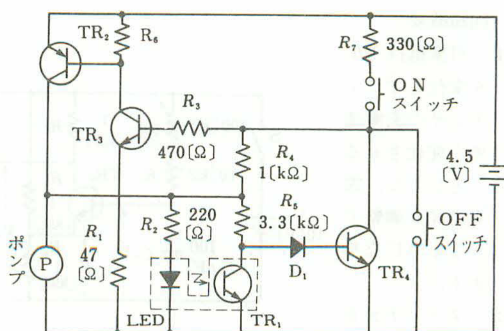
(1)　動作概要

①　ＯＮスイッチを押すとポンプＰが働き，灯油が供給されます。

灯油供給が完了すると自動的にポンプは停止します。

②　ＯＦＦスイッチを押すことによって，手動でもポンプを停止することができます。

(2)　回路概要



①　灯油供給完了の検出器は，発光ダイオード(ＬＥＤ)とホトトランジスタ (TR_1) を用いて構成しています。

②　ＬＥＤ，TR_1，D_1，TR_4 の部分は，自動停止動作を行うための回路です。

(3)　回路動作

①　基本動作

○ＯＮスイッチを押すと R_7，ＯＮスイッチ，R_3 を通じて TR_3 のベース電流が流れ，TR_3 がＯＮになります。

○TR_3 がＯＮになると TR_2 のベース電流が TR_3，R_1 を通じて流れ，TR_2 がＯＮになってポンプが働きます。

○一方，TR_2 がＯＮになると TR_2，R_4，R_3 を通して TR_3 のベース電流が供給されるようになり，ＯＮスイッチが離れても TR_3 のベース電流が流れ続け，TR_3 はＯＮを保持しますから，ポンプは駆動され続けます。

○ＯＦＦスイッチを押すと TR_3 のベース電流が流れなくなり，TR_3，TR_2 ともにＯＦＦとなって，モータは停止します。

②　自動停止動作

○ＯＮスイッチを押したときには TR_3，TR_2 がＯＮとなり，ポンプが駆動するのと同時に R_2 を通じて発光ダイオードが点灯し，その光がホトトランジスタにはいって，ホトトランジスタはＯＮとなり，TR_4 のベース電流が流れず，TR_4 はＯＦＦになっています。

○しかし，灯油がはいって発光ダイオードとホトトランジスタ間の光をさえぎるようになると，ホトトランジスタがＯＦＦとなり，R_5，D_1 を通じて TR_4 のベース電流を流すようになって TR_4 がＯＮとなるので，ＯＦＦスイッチを押したのと同じことになり，ポンプは停止します。

3 写真焼付機の露光時間制御回路

(1) 動作概要

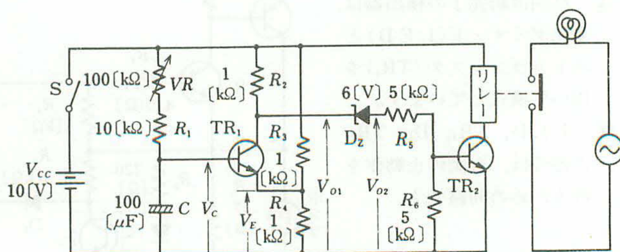
① スイッチSを入れてから一定時間だけランプが点灯し，感光紙を露光します。

② 露光時間は自由に設定できます。



(2) 回路概要

① 可変抵抗 VR を変化してコンデンサの充電速度を変化させることにより，露光時間が調整できるようになります。



② スイッチSを入れるとTR_2がONになってリレーが駆動され，ランプが点灯します。

そして，一定時間が経過すると，TR_1が動作してTR_2がOFFとなり，ランプは消灯します。

(3) 回路動作

① スイッチSを入れるとVR，R_1を通じてコンデンサが充電されていきます。

しかし，初期の段階ではコンデンサがまだ充電されておらず，TR_1はOFFを持続します。

② したがって，スイッチを入れたときはV_{O1}が約10〔V〕となり，TR_2がONとなってリレーが駆動され，ランプが点灯します（ツェナ・ダイオードには6〔V〕のものを用いていますから，V_{O1}が10〔V〕のときはV_{O2}は4〔V〕になります）。

③ その後，時間経過に従ってコンデンサが充電され，V_Cの値がTR_1のエミッタ電圧V_Eよりも大きくなると，TR_1のコレクタ電流が流れてV_{O1}が低下します。

（TR_1のエミッタ電圧V_Eは，つぎのようになっています。

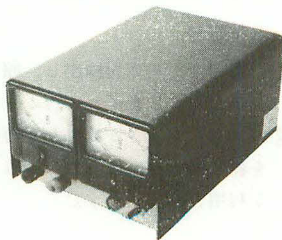
$$V_E=\frac{R_4}{R_3+R_4}V_{CC}=5\ 〔V〕$$

）

④ V_{O1}が低下すると，TR_2のベース電流が流れなくなり，TR_2がOFFとなってリレーが駆動されなくなり，ランプが消灯します。

4 過電流保護付き安定化電源回路

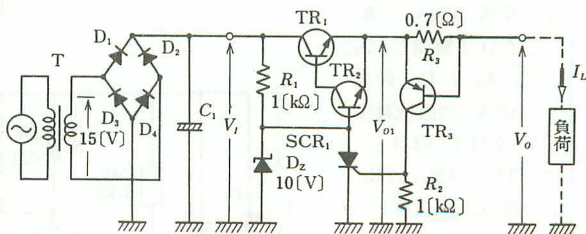
(1) 動作概要



① 整流出力電圧 V_1 が変動しても，一定電圧の安定した直流電圧が得られます。

② 負荷回路に異常があって負荷電流 I_L が大きくなりすぎると，自動的に出力電圧が 0〔V〕となって，過電流が流れるのを防ぎます。

(2) 回路概要



① ダイオードD_1～D_4，コンデンサC_1および変圧器Tは，電源整流回路を構成しています。

② R_1，D_Z，TR_1，TR_2は電圧安定化回路を構成しています。

③ TR_3，R_3，R_2，SCR_1は過電流保護回路を構成しています。

(3) 回路動作

① ツェナ・ダイオードの電圧が10〔V〕ですから，出力電圧 V_{O1} は負荷電流 I_L に関係なく，V_{O1} ＝10〔V〕＋ V_{BE2} ＝10.7〔V〕になります。

○ V_{O1} が10.7〔V〕よりも低くなりかけるとTR_2のベース電流が増加し，TR_2，TR_1のコレクタ電流も増加して，出力電圧が上昇する方向に働きます。

○また，V_{O1} が10.7〔V〕よりも高くなりかけるとTR_2のベース電流が減少し，TR_2，TR_1のコレクタ電流も減少して，出力電圧が低下する方向に働きます。

② R_3の値は小さく，通常の負荷電流によってはほとんど電圧降下を起こしませんから，出力電圧 V_Oは10.7〔V〕になります。

③ 負荷電流I_Lが，負荷の異状で非常に大きくなり，1〔A〕程度以上になると，R_3での電圧降下が0.7〔V〕以上になり，TR_3，SCR_1 がONになります。

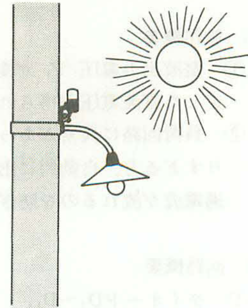
SCR_1 がONになると，ツェナ・ダイオード両端の電圧が約 0〔V〕になり，TR_2，TR_1 をOFFにして，出力電圧をほぼ0〔V〕にします。

④ そして，SCR_1 がONになったとき，R_1を通じてSCR_1を流れる電流の値を保持電流値以上にしておくと，SCR_1はON状態が保持されます。

したがって出力電圧が0〔V〕となり，R_3での電圧降下がなくなっても，出力電圧は0〔V〕を保持します。

⑤ 負荷電流を1〔A〕以上流れないようにして電源を一度切り，SCR_1 をOFFにして再びONにすると，もとの状態にもどります。

5　街路灯の自動点滅回路



(1) 動作概要

① 周囲の明るさを検出し，暗くなれば自動的にランプが点灯します。

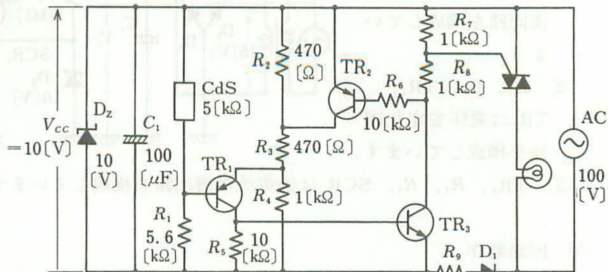
② すこし明るさが変動した程度ではランプが点滅を繰り返さないように，シュミット・トリガ回路が利用されています。

(2) 回路概要

① 交流 100〔V〕の電圧をD_1で整流し，D_Z，C_1，R_9 で D_Z 両端に10〔V〕の直流電圧V_{CC}を得ています。

② TR_1，TR_2，TR_3の部分はシュミット・トリガ回路を構成しています。

③ TR_1のエミッタの電圧は，TR_2がOFFのとき10〔V〕の電圧をR_2，R_3，R_4で分割した値になっています。



(3) 回路動作

① 周囲が暗くなるとCdSの抵抗が大きくなり，CdS両端の電圧降下が大きくなって，TR_1がONになります。

② TR_1がONになると，R_5での電圧降下でTR_3がONとなり，TR_3がONになるとR_7の電圧降下でトライアックがONとなって，ランプが点灯します。

また，TR_3がONになるとTR_2もONになり，R_2での電圧降下が0になってTR_1のエミッタ電位が上昇し，この状態が保持されます。

そして，周囲がすこしぐらい明るくなってもランプは消灯しなくなります。

③ 周囲がかなり明るくなり，CdSの抵抗が小さくなって，TR_1のエミッタ電位よりもベース電位のほうが高くなると，TR_1，TR_3，TR_2の順にOFFとなり，もとの状態にもどってランプは消灯します。

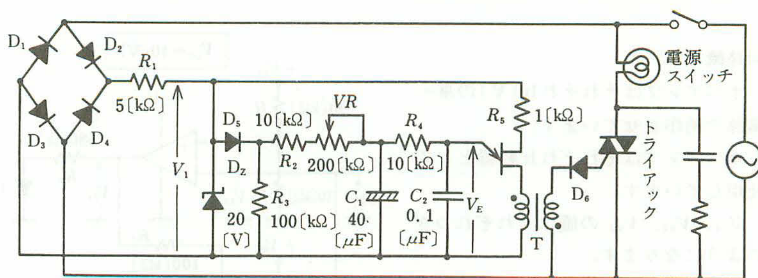
6 ソフトスタートのランプ調光回路



(1) 動作概要

① 電源スイッチをONにすると，時間が経過するにつれて徐々にランプが明るくなります。

② 電源スイッチをONにしてからランプが徐々に明るくなる速度を自由に調整できます。



(2) 回路動作

① 電源スイッチをONにすると，交流100〔V〕の電圧がD_1～D_4で全波整流され，R_1，D_Zによって一定電圧値以上がカットされますから，電圧V_1は図のようになります。

② 電圧V_1はR_2とVRを通じてC_1を充電し，C_1の両端の電圧V_{C1}は図のように徐々に上昇していきます。

このV$_{C1}$の上昇する速度は，VRを変化することによって自由に調整できます。

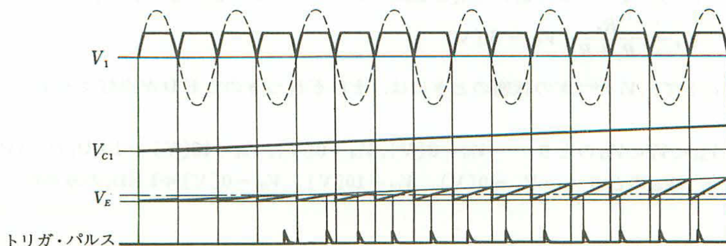
③ 電圧V_{C1}はR_4を通じてC_2を充電し，UJTのエミッタ電圧V_Eを上昇させます。

④ 電源スイッチ投入直後のV_{C1}が低いときは，C_2への充電電流も少なく，V_Eの電圧上昇もほとんどありません。

しかし，時間が経過してV_{C1}が高くなってくると，V_Eも高い電圧まで上昇してきます。

⑤ そして，UJTがONになるレベルが図の一点鎖線のところであるとすると，トリガ・パルスは図のようになって，電源投入後の時間経過に従って早いタイミングで発生するようになり，ランプは明るくなっていきます。

（わかりやすくするために，V_Eおよびトリガ・パルスは発振波形を示していませんが，実際には発振しています。）



7　入力電圧判定回路



(1) 動作概要

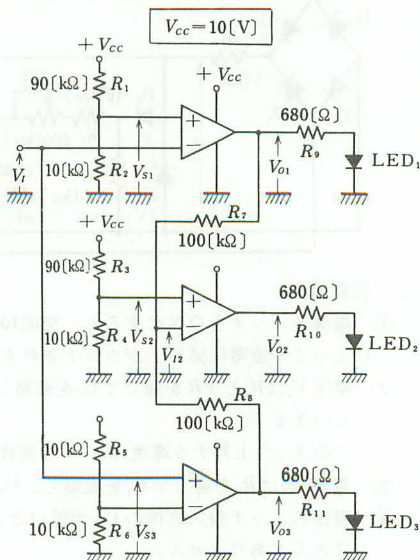
入力電圧に応じて，その大きさを判定し，つぎのようにそれぞれのＬＥＤを点灯表示します。

○ $V_I < V_{S1}$……………… LED_1が点灯

○ $V_{S1} < V_I < V_{S3}$……… LED_2が点灯

○ $V_I > V_{S3}$……………… LED_3が点灯

(2) 回路概要



① オペアンプはそれぞれ10〔V〕の単一電源で動作させています。

② オペアンプはそれぞれ比較器として使用しています。

③ V_{S1}，V_{S2}，V_{S3} の値はそれぞれつぎのようになります。

$$V_{S1}=\frac{R_2}{R_1+R_2}V_{CC}=1〔V〕$$

$$V_{S2}=\frac{R_4}{R_3+R_4}V_{CC}=1〔V〕$$

$$V_{S3}=\frac{R_6}{R_5+R_6}V_{CC}=5〔V〕$$

(3) 回路動作

① V_Iが$V_{S1}=1$〔V〕より低いときはV_{O1}，V_{O3}がそれぞれつぎのようになり，LED_1が点灯し，LED_3は点灯しません。

$V_{O1}=+10$〔V〕，$V_{O3}=0$〔V〕

② そして，$V_{O1}=+10$〔V〕，$V_{O3}=0$〔V〕になると V_{I2} の値がつぎのようになり，V_{O2} の値も0〔V〕になりますから，LED_2 も点灯しません。

つまり，V_Iが1〔V〕より低いときはLED_1だけ点灯することになります。

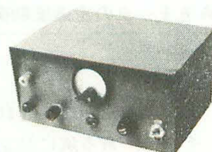
$$V_{I2}=\frac{R_8}{R_7+R_8}V_{O1}=5〔V〕$$

③ 同様にして，V_Iがつぎの状態のときには，それぞれつぎのＬＥＤが点灯するようになります。

○ $V_{S1} < V_I < V_{S3}$のとき…… $V_{O1}=0$〔V〕，$V_{O3}=0$〔V〕，$V_{O2}=10$〔V〕⇨ LED_2のみ点灯

○ $V_I > V_{S3}$のとき…… $V_{O1}=0$〔V〕，$V_{O3}=10$〔V〕，$V_{O2}=0$〔V〕⇨ LED_3のみ点灯

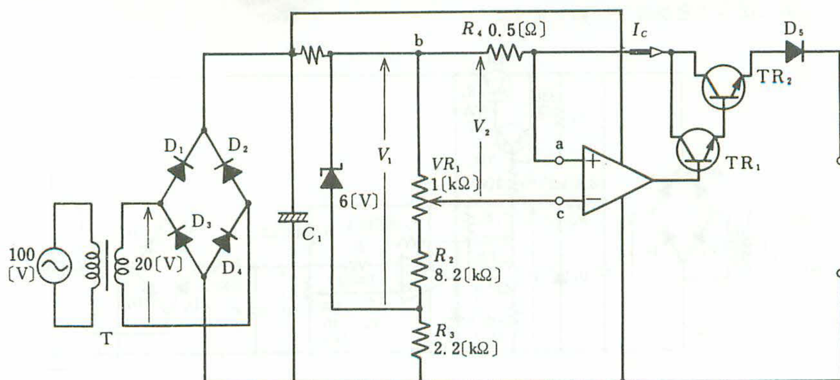
8 バッテリー充電器



(1) 動作概要

① バッテリーに一定電流で充電が行われます。

② バッテリーへの充電電流は任意に調整できます。



(2) 回路概要

① T，D_1～D_4，C_1は電源整流回路を構成しています。

② V_1の値はツェナ・ダイオードによって6〔V〕になっています。

③ TR_1，TR_2はオペアンプ出力でI_Cを制御するためのものです。

④ バッテリーへの充電電流I_OはVR_1によって自由に設定でき，ほぼつぎの値になります。

$$I_O=\frac{V_2}{R_4}=\frac{V_2}{0.5〔\Omega〕}$$

(3) 回路動作

① オペアンプはつぎのような動作をして，点ba間の電圧と点bc間の電圧が等しくなるように働きます。

○点bc間の電圧よりも点ba間の電圧が小さければ，点cの電位よりも点aの電位のほうが高くなり，オペアンプの出力電圧が上昇し，TR_1，TR_2のコレクタ電流が増加してR_4での電圧降下が大きくなって点ba間の電圧が増加します。

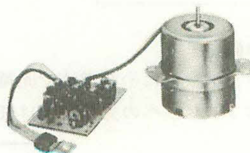
○点bc間の電圧よりも点ba間の電圧が大きければ，点cの電位よりも点aの電位のほうが低くなり，オペアンプの出力電圧が低下し，TR_1，TR_2のコレクタ電流が減少してR_4での電圧降下が小さくなって点ba間の電圧が低下します。

② つまり，オペアンプとTR_1，TR_2は，R_4に$\frac{V_2}{R_4}$の電流が流れるように動作します。

V_2の値を1〔V〕に設定すると，R_4には2〔A〕の電流が流れるようになります。

③ R_4に流れる電流は，オペアンプへの電流，TR_1，TR_2のベース電流を無視すると，この電流がそのままバッテリーへの充電電流になります。

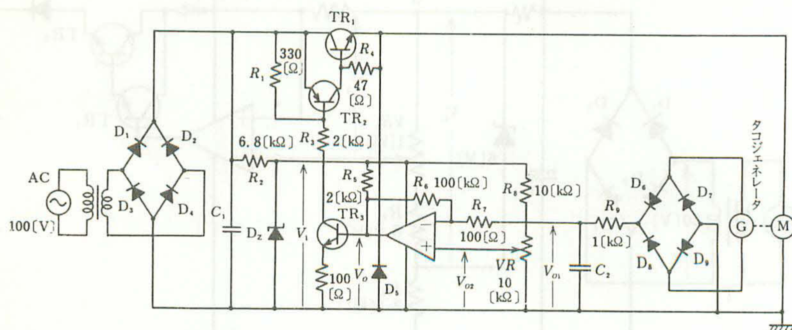
9　直流モータの定速度制御回路



(1) 動作概要

① モータの回転速度を自由に設定できます。

② そして，ある値に設定すると，その設定値に従って定速度で回転します。



(2) 回路概要

① モータの回転速度の検出は，モータのシャフトにタコジェネレータ(G)を直結し，その発電電圧で検出しています（タコジェネレータとは一種の小形発電機です）。

② D_6～D_9，R_9，およびC_2は，タコジェネレータの発電電圧を整流・平滑するためのものです。

モータの回転速度が速くなるとV_{O1}は上昇し，遅くなるとV_{O1}は低下します。

③ VRは回転速度を設定するためのもので，オペアンプは検出電圧V_{O1}と設定電圧V_{O2}の差の電圧を増幅します。

④ TR_1，TR_2，TR_3はオペアンプ出力の電力制御回路です。

⑤ R_2およびツェナ・ダイオードD_ZでV_1の値を12〔V〕にしています。

⑥ D_1～D_4およびC_1は電源整流回路を構成しています。

(3) 回路動作

① 回転速度が設定値よりも速くなると，タコジェネレータの発電電圧が上昇し，V_{O2}よりもV_{O1}のほうが高くなってきます。

② 回転速度が設定値よりも遅くなると，タコジェネレータの発電電圧が低下し，V_{O2}よりもV_{O1}のほうが低くなってきます。

③ V_{O1}，V_{O2}の値によって，オペアンプの出力電圧V_Oはつぎのようになります。

○回転速度が遅く，V_{O1}がV_{O2}より低い場合は，オペアンプの出力電圧が上昇します。

○回転速度が速く，V_{O1}がV_{O2}より高い場合は，オペアンプの出力電圧が低下します。

④ 回転速度が設定値からズレてくると，つぎのような動作をして速度が修正され，定速度回転をするようになります。

○回転速度が減少し，オペアンプ出力が上昇すると，TR_3のベース電流が増加し，TR_3，TR_2，TR_1のコレクタ電流が増加し，モータに流れる電流が増加して，回転速度が上昇する方向に働きます。

○回転速度が増加し，オペアンプ出力が低下すると，TR_3のベース電流が減少し，TR_3，TR_2，TR_1のコレクタ電流が減少し，モータに流れる電流が減少して，回転速度が低下する方向に働きます。

練習問題の解答

1．電子制御と検出器

1 (1) (ア) (2) (イ) (3) (ウ) (4) (イ) (5) (ウ) (6) (ア)

2 (1) サーミスタ (2) CdS (3) 差動変圧器

3 (1) (ウ) (2) (イ) (3) (ウ) (4) (ウ) (5) (ア) (6) (ア)

4 (1) $R_{TH}=1000$〔Ω〕 $I=0.007$〔A〕 $V=3.5$〔V〕

(2) $R_{TH}=400$〔Ω〕 $I=0.0175$〔A〕 $V=5$〔V〕

2．電子制御の構成とトランジスタ

1 (1) (ア) コレクタ (イ) ベース (ウ) エミッタ (エ) NPN

(オ) コレクタ (カ) ベース (キ) エミッタ (ク) PNP

(2) NPN (3) 電流増幅率 (4) 0.6（または0.7）

2 (ア) 5〔mA〕 (イ) 10〔mA〕 (ウ) 15〔mA〕

3 (1) 増加する (2) 0.6〔V〕(または0.7〔V〕) (3) 増加する

3．電圧増幅

1 (1) R_E (2) $V_{RE}=V_I-0.7$ (3) 9倍 (4) $I_A \gg I_B$(または$I_A>10I_B$)

(5) $R_E(1+h_{FE}) \gg R_{TH}\cdot R_A/(R_{TH}+R_A)$

2 $V_{RE}=V_I-0.7=2.7-0.7=$ 2〔V〕 $I_E=V_{RE}/R_E=$ 1〔mA〕

3 $V_{RE}=V_I-0.7=3.7-0.7=$ 3〔V〕 $R_E=V_{RE}/I_E=$0.6〔kΩ〕

4 (1) $V_{RE}=V_I-0.7=$1.3〔V〕 $I_E=V_{RE}/R_E=$0.65〔mA〕 $I_C \fallingdotseq I_E=$0.65〔mA〕

(2) $V_I=1.7$〔V〕のとき⇨$V_{RE}=1$〔V〕 $I_C \fallingdotseq I_E=0.5$〔mA〕 $V_O=V_{CC}-I_CR_C=$10〔V〕

$V_I=2.2$〔V〕のとき⇨$V_{RE}=1.5$〔V〕 $I_C \fallingdotseq I_E=0.75$〔mA〕 $V_O=V_{CC}-I_CR_C=$7.5〔V〕

(3) $A=\Delta V_O/\Delta V_I=R_C/R_E=$ 5倍

5 $V_{RE}=I_E\cdot R_E \fallingdotseq I_C\cdot R_E=2$〔V〕 $V_I=V_{RE}+0.7=$2.7〔V〕

6 ○CdSの抵抗が15〔kΩ〕のときに$I_C \fallingdotseq 0$にするには，この状態でV_Iを0.7〔V〕にすればよい。

$$10〔V〕\times\frac{R_A}{R_A+15〔kΩ〕}=0.7〔V〕 \qquad \therefore R_A=\frac{10.5}{9.3}〔kΩ〕\fallingdotseq 1.13〔kΩ〕$$

○CdSの抵抗(R)が10〔kΩ〕，$R_A=1.13$〔kΩ〕のときのV_Iはつぎのようになる。

$$V_I=V_{CC}\cdot\frac{R_A}{R_A+R}=1.0〔V〕$$

○この状態でI_Cに5〔mA〕流すためには，R_Eの値をつぎのようにすればよい。

$$V_{RE}=V_I-0.7=0.3〔V〕 \qquad R_E=V_{RE}/I_E \fallingdotseq V_{RE}/I_C=60〔Ω〕$$

7 $V_E=6$〔V〕×100〔Ω〕/(500〔Ω〕+100〔Ω〕)＝1〔V〕 ∴$V_I=1.7$〔V〕

4．電力制御

1 $V_L=V_I-0.7=10$〔V〕

$I_L=V_L/R_L=1$〔A〕

$I_B=I_L/(1+h_{FE})\fallingdotseq 10$〔mA〕

$P_L=I_L^2\cdot R_L=10$〔W〕

2

V_I	I_B	V_L	I_L	P_L
1.2〔V〕	0.5〔mA〕	0.5〔V〕	0.05〔A〕	0.025〔W〕
5.7〔V〕	5〔mA〕	5.0〔V〕	0.5〔A〕	2.5〔W〕
9.7〔V〕	9〔mA〕	9.0〔V〕	0.9〔A〕	8.1〔W〕

3 (1) ダーリントン接続　(2) 10000

(3) $V_L = V_{C1} - 0.7 \times 2 = \underline{18〔V〕}$

$I_{B2} \doteqdot I_L / (h_{FE1} \cdot h_{FE2})$　$I_L = 1〔A〕$　$\therefore I_{B2} \doteqdot \underline{0.1〔mA〕}$

4 (1) 実線　(2) 1〔V〕　(3) 入力電圧が±0.7〔V〕の範囲ではモータが回転しない。

5. ON－OFF制御とシュミット・トリガ

1 (1) 少な　(2) (ア) スイッチング　(イ) 飽和（ON）　(3) シュミット・トリガ

2 $I_C = 10〔V〕/100〔\Omega〕= 0.1〔A〕$　$I_B = I_C / h_{FEmin} = 1〔mA〕$　$\therefore \underline{1〔mA〕以上}$

3 $V_E = V_{CC} \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = 2〔V〕$　$\therefore \underline{V_I = 2.7〔V〕}$

$V_E = V_I - 0.7 = 5〔V〕$　$5〔V〕= 10〔V〕\times R_2 / (R_2 + 800〔\Omega〕)$　$\therefore \underline{R_2 = 800〔\Omega〕}$

4 $V_U = V_{CC} \times (R_2' + R_2'') / (R_1 + R_2' + R_2'') + 0.7 = \underline{4.7〔V〕}$

$V_L = V_{CC} \times R_2' / (R_1 + R_2') + 0.7 = \underline{3.2〔V〕}$

6. サイリスタとON－OFF制御

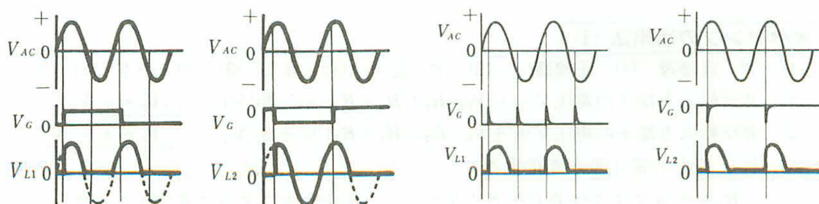
1 (1) (ア) カソード　(イ) ゲート

(2) (ア) アノード（カソード）　(イ) カソード（アノード）

(3) (ア) ゲート・トリガ　(イ) 保持

2 $V_{I(min)} = V_{GK(max)} + I_{GK(max)} \cdot R_G = \underline{\quad 4.8 \quad}〔V〕$　3 (イ)

4　5



6 (1) シュミット・トリガ回路　(2) 4.7〔V〕　(3) 50〔W〕

7 (1) 負　(2) 減少する　(3) 駆動されない（電圧がかからない）

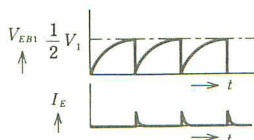
7. 位相制御（I）

1 (1) 連続　(2) ゲート・トリガ　(3) (ア) B_1（ベース1）

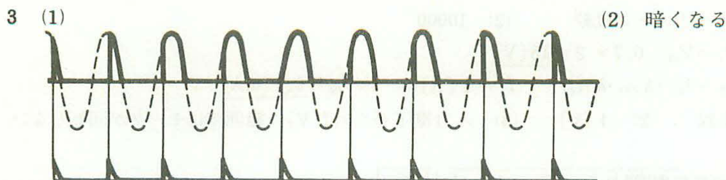
(イ) スタンドオフ電圧比　(4) 谷電流

2 (1) ① 遅く　② (ア) EB_1（エミッタ・ベース1）　(イ) V_1/R_1

(2)



3 (1) (2) 暗くなる



8．位相制御 (II)

1 (1) プログラマブル (2) (ア) AK（アノード・カソード） (イ) 谷電流
(3) ブレークオーバ

2 (1) 5.7〔V〕 (2) 早くなる 3 (1) 減少する (2) 暗くなる

4 (1) 明るくなる
(2) ヒステリシス現象の軽減（ランプが消えている状態から明るくしていく際に急激にある明るさになってしまうのを軽減するため）

9．オペアンプと比較機能

1 (1) (ア) 反転入力 (イ) 非反転入力 (2) (ア) 無限大 (イ) 0
(3) オフセット

2 (ア) −15〔V〕 (イ) +15〔V〕 (ウ) +15〔V〕 (エ) −15〔V〕

3 (1) オフセット補正 (2) 5〔V〕
(3) (ア) 駆動されない（電圧がかからない） (イ) 駆動される（電圧がかかる）

10．オペアンプの活用法 (I)

1 (1) (ア) 負帰還 (イ) 正帰還 (2) (ア) 正 (イ) 負 (3) (ア) 小さ (イ) 広く

2 (1) 非反転入力端子の電圧 $V=-V_{CC}\cdot R_2/(R_1+R_2)=-5$〔V〕 $\therefore V_l=-5$〔V〕
(2) 非反転入力端子の電圧 $V=+V_{CC}\cdot R_2/(R_1+R_2)=+5$〔V〕 $\therefore V_l=+5$〔V〕

3 (1) V_U と V_L との電圧差が変化する。
○ R_2 を小さくする⇨差が小さくなる ○ R_2 を大きくする⇨差が大きくなる
(2) V_U と V_L との中心値が移動する。

11．オペアンプの活用法 (II)

1 (1) (ア) 0 (イ) イマジナル・ショート (2) (ア) 0.1 (イ) 0.1 (ウ) 2

2 (1) 反転増幅器 (2) 0〔V〕 (3) 0.1〔mA〕 (4) 2〔V〕

3 (1) 差動増幅器 (2) $V_a=V_2\cdot R_1/(R_1+R_2)=2$〔V〕 (3) 2〔V〕
(4) $I=(V_1-V_a)/R_2=0.2$〔mA〕 (5) $V_O=V_a+V_{R1}=2-4=-2$〔V〕

4 (1) $I=V_1/R_2$ (2) $V_{R1}=IR_1$ (3) $V_O=-V_{R1}=-IR_1=-V_1R_1/R_2$

学習プログラム方式　末武国弘（東京工業大学名誉教授／神奈川大学教授）

編著代表者　中野　稔

執　筆　神内英行
藤塚　治
光永浩志

編　集　前川　寛
久米　勇
杉　英一（技術本部）
嶋崎　烈（技術本部）

制御基礎講座　3

プログラム学習による　電　子　制　御

昭和55年12月10日　初版発行
昭和56年3月10日　2刷発行
昭和56年7月3日　3刷発行
昭和56年10月6日　4刷発行

定価 1,200 円

発行　松下電器産業株式会社

製作
発売元　科学情報社

大阪市西区江戸堀1-21-3
ソガベビル
電話　大阪(448)6530
振替　大阪3 1 5 0 9

書店発売　広済堂出版
03(453)1201

3354-171071-2230　© 1980
印刷　株式会社関西廣済堂

電気基礎講座

1．直　流　編	A 5	206ページ	950円
2．磁気・静電気編	A 5	262ページ	1,100円
3．交　流　編	A 5	270ページ	1,100円
4．電 気 回 路 編	A 5	276ページ	1,100円
5．電 子 回 路 編 Ⅰ	A 5	230ページ	1,000円
6．電 子 回 路 編 Ⅱ	A 5	310ページ	1,200円

制御基礎講座

1．リレーシーケンス制御	A 5	192ページ	950円
2．無接点シーケンス制御	A 5	232ページ	1,000円
3．電　子　制　御	A 5	304ページ	1,200円
4．ディジタル制御　(続刊)			
5．マイクロコンピュータ制御　(続刊)			

初歩設計製図講座

1．図面の読みかた	B 5	220ページ	1,500円
2．製 図 の 規 則 (続刊)			
3．初 歩 の 設 計 (続刊・仮題)			

発売　広済堂出版
定価 1,200 円
3354-171071-2230